

Objektorientierte Produktionsarbeit: neue Konzepte für die Fertigung

Rose, Helmuth (Ed.)

Veröffentlichungsversion / Published Version
Sammelwerk / collection

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:
Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. - ISF München

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Rose, H. (Hrsg.). (1996). *Objektorientierte Produktionsarbeit: neue Konzepte für die Fertigung* (Veröffentlichungen aus dem Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V., ISF München). Frankfurt am Main: Campus Verl. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-67849>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Helmuth Rose (Hg.)

Objektorientierte Produktionsarbeit

Neue Konzepte für die Fertigung

Campus Verlag
Frankfurt/New York

Veröffentlichungen aus dem
Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V.
ISF München



Die in diesem Band zusammengefaßten Ergebnisberichte entstanden zum größten Teil im Rahmen von Forschungsarbeiten, die vom Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) gefördert wurden.

Dazu gehören WesUF („Handlungsorientierte Lösungen für Werkzeugmaschinensteuerungen zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter und gruppenfähiger Facharbeit“); WNF („Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung“); INNOVATIF („Innovative Wege zur Handlungsunterstützung des Facharbeiters an Werkzeugmaschinen“); HÜMNOS („Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz offener Steuerungsarchitektur“); TUDOR („Technische Unterstützung dezentraler Organisationsstrukturen“).

Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren und dem Herausgeber.

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Objektorientierte Produktionsarbeit : neue Konzepte für die Fertigung /
Helmuth Rose (Hg.). - Frankfurt/Main ; New York : Campus Verlag, 1996
(Veröffentlichungen aus dem Institut für Sozialwissenschaftliche
Forschung e.V., ISF München)
ISBN 3-593-35524-8
NE: Rose, Helmuth (Hrsg.)

Die Veröffentlichungen werden herausgegeben vom Institut
für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. - ISF München.

Copyright © 1996 ISF München.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung ohne Zustimmung des Instituts ist unzulässig. Das gilt
insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen
und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Vertrieb: Campus Verlag, Heerstraße 149, 60488 Frankfurt.
Redaktion und Satz: Christa Hahlweg.
Druck und Bindung: Druckerei Novotny, 82319 Starnberg.
Printed in Germany.

Inhalt

Vorwort	7
<i>Helmuth Rose</i>	
Objektorientierte Produktionsarbeit	9
<i>Guido Gryczan, Heinz Züllighoven</i>	
Objektorientierte Anwendungsentwicklung - Von der maschinenzentrierten zur menschenorientierten Sichtweise	23
<i>Wilfried Schäfer</i>	
Offene Systemarchitekturen als Perspektive für Werkzeugmaschinensteuerungen	55
<i>Alfred Storr, Claus Itterheim</i>	
Objektorientierte Bearbeitungsmodellierung zur werker-gerechten Modifikation von Freiformflächenbearbeitungen	65
<i>Dieter Spath, Achim Agostini, Frank Fleissner, Wolfgang Walter</i>	
Objektorientierung in der NC-Fertigung	97
<i>Alfred Storr, Bernd Rommel</i>	
Bearbeitungsobjekte als Basis für Informationsmodelle	119
<i>Harald Witt, Hartmut Schulze, Herbert Schulz, Christian Glockner, Thomas A. Fechter, Helmuth Rose</i>	
Technische Unterstützung der Nutzerforderungen in einer objektorientierten Werkzeugmaschinensteuerung	131
<i>Hartmut Schulze</i>	
Beurteilung des Prototyps einer objektorientierten Steuerung durch Fachkräfte	173

*Inga Tschiersch, Axel Westerwick, Paul Fuchs-Frohnhofen,
Ernst Andreas Hartmann*

Möglichkeiten und Grenzen objektorientierter Programmierung
- am Beispiel CNC-Steuerungs- und Programmier-Software 205

Hans-Peter Laubscher, Uwe Rey

Objektorientierte Modellierung eines Planungs- und Informa-
tionssystems in der Produktionslogistik 223

Helmuth Rose

Nutzergerechte Repräsentations- und Interaktionsformen für
objektorientierte Informationsmodelle 245

Die Autoren 288

Das Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. München 289

Vorwort

Der vorliegende Sammelband spiegelt eine Diskussion zwischen Ingenieurwissenschaften und Sozialwissenschaften über die Berücksichtigung von Nutzerbedarfen bei der Entwicklung objektorientierter Informationsmodelle und ihrer Anwendung in Werkzeugmaschinensteuerungen und Planungs- und Informationssystemen wider.

Ausgangspunkt ist die Einschätzung, daß die Steuerung von Anlagen und Maschinen in Zukunft vermehrt über PCs erfolgen wird und hierdurch andere Möglichkeiten als bisher bestehen, das objektorientierte Modellieren - wie in der Bürokommunikation bereits erprobt - als Bezugsrahmen für Steuerungskonzepte zu wählen. Aus sozialwissenschaftlicher Sicht ist interessant, ob es hierbei gelingen könnte, die schon seit längerem erhobenen Forderungen nach einer Berücksichtigung der Handlungsorientierung von Arbeitskräften in die neuen Konzepte einfließen zu lassen. Der Band gibt Auskunft über mögliche Ansatzpunkte mit dem Schwerpunkt in der NC-Fertigung. Fast alle Beiträge entstanden in Zusammenhang mit Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie.

Zu nennen sind die Vorhaben „Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz offener Steuerungsarchitektur (HÜMNOS)“ (s. den Beitrag von Wilfried Schäfer); „Handlungsorientierte Lösungen für Werkzeugmaschinensteuerungen zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter und gruppenfähiger Facharbeit (WesUF)“ (s. die Beiträge von Achim Agostini, Thomas A. Fechter, Frank Fleißner, Christian Glockner, Bernd Rommel, Helmuth Rose, Herbert Schulz, Hartmut Schulze, Dieter Spath, Alfred Storr, Wolfgang Walter und Harald Witt); „Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung (WNF)“ (s. den Beitrag von Alfred Storr und Claus Itterheim); „Innovative Wege zur Handlungsunterstützung des Facharbeiters an Werkzeugmaschinen (INNOVATIF)“ (s. den Beitrag von Inga Tschiersch, Axel Westerwick, Paul Fuchs-Frohnhofen und Ernst Andreas Hartmann) und „Technische Unterstützung dezentraler Organisa-

tionsstrukturen (TUDOR)“ (s. den Beitrag von Hans-Peter Laubscher und Uwe Rey).

Der Beitrag „Objektorientierte Anwendungsentwicklung - Von der maschinenzentrierten zur menschenorientierten Sichtweise“ der Informatiker Guido Gryczan und Heinz Züllighofen wurde allen anderen über die Fertigung vorangestellt. Er stellt zentrale Anforderungen an das objektorientierte Modellieren, wie sie in der Bürokommunikation entwickelt worden sind. Unter dem Gesichtspunkt, daß die Steuerung von Anlagen und Maschinen zukünftig mehr über PCs erfolgen wird, erscheint es sinnvoll, die Erfahrungen der Bürokommunikation bei der Entwicklung neuer Konzepte für die Fertigung einzubeziehen.

München, im September 1996

Helmuth Rose

Objektorientierte Produktionsarbeit

1. Marktinduzierter Druck auf die Restrukturierung von Unternehmen
2. Bedarf nach Reintegration von Aufgaben in die Fertigung
3. Nutzergerechte Informationsverarbeitung als Leitvorstellung für technische Systemkonzepte
4. Arbeitspsychologisch und industriesoziologisch „kritische“ Fragestellungen bei objektorientierter Produktionsarbeit

An der Schwelle zum 21. Jahrhundert müssen sich Unternehmen neuartigen Herausforderungen an die Produktion stellen. Aufgrund wechselnder Käuferschichten, kürzerer Produktlebenszyklen, geringerer Marktausschöpfungszeiten, Internationalisierung der Produktion und Schwankungen bei den Währungssystemen hat sich der internationale Wettbewerb verschärft. Unternehmen, denen es gelingt, Innovationsprozesse für die Entwicklung und Fertigung neuer oder verbesserter Produkte mit Produktionsprozessen für marktgängige Produkte und Service zu koppeln, werden hierbei besonders große Erfolgchancen eingeräumt (Hartmann, König 1996).

1. Marktinduzierter Druck auf die Restrukturierung von Unternehmen

Durch die neuen Herausforderungen besteht ein hoher Druck auf eine markt- und kundenorientierte Restrukturierung der Unternehmensorganisation. Ein einheitliches Konzept läßt sich bei den verschiedenen Randbedingungen von Unternehmen jedoch nicht entwickeln. So besteht lediglich Übereinkunft darüber, daß die bisher erfolgreichen Strategien

(wie z.B. eine hierarchisch-funktionelle Gliederung, zentrale Planung und Kontrolle, weitestgehende Arbeitsgliederung) nicht mehr ausreichen und neue Strategien entwickelt, erprobt und umgesetzt werden müssen. Übereinkunft besteht auch darüber, daß sich eine Reorganisation nicht allein von oben entwickeln und durchsetzen läßt, sondern des Einbezugs möglichst vieler Mitarbeiter bedarf. Die Diskussion z.B. um Geschäftsop-
timierung, schlanke Produktion und fraktale Fabrikorganisation zeigt hier das breite Spektrum neuer Ansatzpunkte auf. Entsprechend diesem „Zugzwang“ zu organisatorischem Wandel ändern sich die Anforderungen an die dafür geeignete Produktionstechnik.

Fest steht, daß sich die 1985 auf der Hannover Messe propagierten geschlossenen CIM-Konzepte nicht verwirklichen ließen (Politsch 1993). Allerdings wurden aus der Schwierigkeit der Umsetzung nicht überall die notwendigen Schlußfolgerungen um eine angemessene Automatisierungstechnik gezogen. Nach wie vor sind die mehr aus theoretischen Erwägungen abgeleiteten Sichtweisen vorherrschend, während die mehr an der Praxis orientierten Sichtweisen sich erst mühsam behaupten müssen und häufig immer noch als „Störung“ empfunden werden. Vor allem Sichtweisen, die vom Nutzerbedarf - d.h. dem Bedarf der Arbeitskräfte bei der Arbeit mit Anlagen und Maschinen - ausgehen, werden nur zögerlich reflektiert. Diese Sichtweise, die sich auf die konkreten Arbeitssituationen und Arbeitsweisen in der Produktion richtet, soll im folgenden kurz charakterisiert werden. Sie fußt auf einer Reihe empirischer Befunde, die deshalb zunächst dargestellt werden.

2. Bedarf nach Reintegration von Aufgaben in die Fertigung

Produktionsarbeit der NC-Fertigung läßt sich grundlegend in Arbeit mit Einzelmaschinen und Bearbeitungszentren (für Einzel- und Kleinserienfertigung) sowie Arbeit mit verketteten Bearbeitungszentren und Sondermaschinen (für Serienfertigung) mit jeweils charakteristischen Aufgabenspektren und geförderten Kompetenzschwerpunkten gliedern.

Zum Aufgabenspektrum der Arbeit mit Einzelmaschinen und Bearbeitungszentren gehören nach Weber (1994) die Teilaufgaben Arbeitsplanung, NC-Programmierung, Fertigungssteuerung, Betriebsmittelverwaltung, Maschineneinrichten, Programmtesten und -korrigieren, Maschi-

nenbedienen, Qualitätssicherung und Instandhaltung. Je nach Produktspektrum, Arbeitsorganisation und technologischem Niveau sind diese Teilaufgaben mehr oder weniger stark ausgeprägt (und bilden nach Weber acht Arbeitsstrukturtypen). Im BMBF-Projekt WesUF (1996) wurden die Teilaufgaben Feindisponieren, Übernehmen von Vorgaben und Unterlagen, Aneignen von Informationen, Spannen und Rüsten, Definieren von Bearbeitung, Zerspanen, Diagnostizieren, Instandhalten, Qualitätssichern, Dokumentieren sowie Kommunizieren herausgestellt.

Die geforderten Kompetenzschwerpunkte bilden das Einrichten und Rüsten sowie das Programmeinfahren und -überwachen (wobei bei werkstatorientierter Fertigung beim Programmeinfahren auch das Programm eingegeben wird).

Es kommt hierbei nicht auf die Unterschiede in den Benennungen oder auf ihre Reihenfolge an. Wichtig ist, daß die zugrundeliegenden ausführlichen empirischen Untersuchungen herausstellen, daß versierte Arbeitskräfte ihre Arbeit in Tätigkeitsbündeln organisieren und daß sich Wahrnehmen, Denken und Handeln bei der Bewältigung von Teilaufgaben auf diese Tätigkeitsbündel beziehen.

In stark gegliederten Betrieben sind Einrichter und Maschinenbediener aus der Werkstatt sowie Programmierer und Arbeitsvorbereiter (aus dem Technischen Büro) auf einen differenzierten Informations- und Erfahrungsaustausch angewiesen. Bei der Arbeit in Fertigungsinseln (mit Einbezug von Fertigungssteuerung und Programmierung) wird zumeist in Gruppen gearbeitet, bei denen die Fertigungssteuerung eine Kernaufgabe darstellt und die Arbeit mit Maschinen (mit verschiedenen Steuerungen) Schwerpunkte für einzelne Arbeitskräfte bildet. Bei Werkstattfertigung (ohne zentrale Arbeitsvorbereitung, z.B. in kleineren Betrieben) werden die Aufgaben der Maschinenbelegung, Auftragsverfolgung und Programmierung ebenfalls in Zusammenarbeit des Werkstattpersonals wahrgenommen.

Das Aufgabenspektrum der Arbeitskräfte an verketteten Arbeitszentren und Sondermaschinen setzt sich nach Schüpbach (1994) für Maschinenbediener aus den Teilaufgaben Ein-/Ausspannen der Werkstücke, Werkstückprüfung, Anlagenüberwachung, manuelle Bearbeitungsfunktionen, Materialflußsteuerung, Mithilfe beim Einrichten/Reparieren/Warten und Kommunizieren zusammen; beim Einrichter sind es Bestücken, Prüfen/

Überwachung, Störungsbehebung, Werkzeugwechsel, Mithilfe beim Umrüsten und Reparieren sowie Kommunizieren.

Nach Untersuchungen im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens „HÜMNOS“ (1996) ist die Arbeit von Maschinenbedienern, Einrichtern und Systemführern geprägt durch die Tätigkeitsbereiche Einrichten/Rüsten (bei Inbetriebnahme), Einfahren von Programmen (bei Inbetriebnahme), Einstellen von Programmparametern, Messen, Wechseln von Werkzeugen, Ändern von Werkzeugkorrekturwerten, Beheben von Störungen, Dokumentieren, Warten/Reinigen und Kommunizieren.

Der geforderte Kompetenzschwerpunkt der Arbeit liegt vor allem im Bereich der Störungsbehebung und der Werkzeugüberwachung.

Auch hier sind nicht die Unterschiede in den Benennungen bedeutsam, sondern (wie bei der Arbeit mit Einzelmaschinen) der empirische Befund, daß sich Arbeitskräfte ihre Arbeit in Tätigkeitsbündeln organisieren.

Die Aufgabenbereiche von Einrichtern, Maschinenbedienern, Systemführern und auch Instandhaltern wachsen in der Praxis mehr und mehr zusammen. Es entsteht ein gemeinsames Aufgabenfeld, wie es bereits schon in früheren Untersuchungen herausgestellt wurde. Schumann (Schumann u.a. 1994) bezeichnet die Arbeitskraft für dieses Aufgabenfeld als „Systemregulierer“; Böhle und Rose (1992) benennen sie ähnlich als „Anlagenfahrer“. Die notwendige Kooperation stärkt den Zusammenhalt von „Schichtmannschaften“ und fördert abteilungsübergreifende Zusammenarbeit.

In den Konzepten von NC-Verfahrensketten und CNC-Steuerungen finden diese Befunde, daß Arbeitskräfte ihre Tätigkeit in Handlungsmodulen organisieren, noch keine tiefergehende Berücksichtigung. Die Konzepte werden nach wie vor von Funktionsmodellen und informationslogistischen Erwägungen dominiert. Bei den gegenwärtig umgesetzten Bedienungskonzepten für Anlagen und Maschinen ist hauptsächlich die Bedienerführung zum Aufruf der vorgesehenen Funktionen üblich. Alles weitere - so die zugrundeliegenden Annahmen - erfolgt eben automatisch. Das gilt jedoch allenfalls beim Vorliegen bestimmter Voraussetzungen. Dazu gehören u.a. die Vernachlässigung des Verschleißes von Komponenten, eine konstante Umgebung bei Zerspanungsprozessen, die

vollständige Verfügbarkeit über Ressourcen (z.B. funktionsfähige Maschinen und Werkzeuge), die Vernachlässigung von Informationsverlusten bei der Transformation verschiedener Schnittstellen, die Implementierung von Verfahren für alle möglichen Arbeitssituationen (Martin 1995).

In etwa 10 bis 15 % aller Arbeitssituationen in der Fertigung sind die hier genannten Voraussetzungen aber nach Ergebnissen von HÜMNOS nicht gegeben. Deshalb müssen Teilaufgaben häufig mit den vorhandenen Funktionen auf umständliche Weise mit hohem Aufwand bewältigt werden.

3. Nutzergerechte Informationsverarbeitung als Leitvorstellung für technische Systemkonzepte

Auch wenn in der Praxis die Einsicht der Bedeutung von Aufgabenintegration und Handlungsorientierung entlang Verfahrensketten und bei der Arbeit mit Anlagen und Maschinen mehr und mehr um sich greift, so fehlt es doch noch weitgehend an adäquater technischer Unterstützung. Die bisherigen Wege, Anwenderprobleme Herstellern nahezubringen, haben nicht ausgereicht, um hier andere technische Entwicklungen, die sich am Nutzerbedarf orientieren, zu fördern, z.B. für die Kompetenzschwerpunkte „Programme einfahren“ (bei der Kleinserienfertigung) und „Störungsbehebung“ (bei der Serienfertigung). Wenige Ausnahmen (häufig kleine Hersteller) haben den Haupttrend bisher noch nicht nachhaltig beeinflussen können.

Nach wie vor müssen Bearbeitungsprogramme nach der DIN 66025 (und bei verschiedenen Steuerungen nach herstellerspezifischen Varianten) codiert, gefahren, geändert und archiviert werden, sogar auch dann, wenn sie mit anderen Programmiersystemen oder komfortableren, z.B. grafischen Eingabetechniken erstellt worden sind. Allein dadurch ergeben sich vielfältige Übersetzungsprobleme und Fehlerquellen. Bei zentral erstellten Programmen ergibt sich auch häufig hoher Einfahraufwand, weil geeignete Aufspannungen, verfügbare Werkzeuge oder angemessene Technologiewerte nicht vollständig voraussehbar sind und es an einer Rückdokumentation hierüber nach Bearbeitungsprozessen fehlt. Um diesen Defiziten zu begegnen, bedarf es der Herstellung durchge-

hender Informationssysteme entlang der NC-Verfahrenskette, der Ersetzung der DIN 66025 durch andere Eingabe- und Änderungsmethoden bei der Programmerstellung und -archivierung, der Verbesserung der Prozeßtransparenz und direkter Eingriffsmöglichkeiten in den Bearbeitungsprozeß (Fechter 1994).

Für die Diagnose und Behebung von Störungen erhalten die Maschinenbediener bei der gegenwärtig eingesetzten Serienfertigung nur unzureichende Informationen. Hierzu gehören z.B. fehlerhafte Störungsmeldungen (wie sie etwa durch die Verschmutzung von Sensoren entstehen), ebenso wie eine ungenügende Fehlerlokalisierung. Auch für die Störungsbehebung mangelt es zumeist an Hinweisen bzw. lassen sich die bezeichneten Funktionselemente nur schwer finden. Zumeist muß auch in die Grundstellung gefahren werden, anstatt nur bestimmte Funktionsgruppen beim Programmablauf behandeln zu können.

Die Defizite resultieren zu einem guten Teil daraus, daß die Problematik der Störungsbehandlung bei der Entwicklung von Steuerungssystemen nicht berücksichtigt wurde und deshalb meist nachträgliche Mechanismen einbezogen worden sind. Nach wie vor werden die dezentralen Meldungen an eine zentrale Instanz übertragen. Das erfordert bei zunehmender Vielfalt der zu verarbeitenden Informationen einen hohen Beschreibungsaufwand und führt zur Überlastung zentraler Funktionen, die auf eintretende Störungen nicht mehr innerhalb der erforderlichen Zeit reagieren können. Durch die Zentralisierung von Informationen bleiben die dezentralen Möglichkeiten und Potentiale zur Störungsbehebung so gut wie ungenützt. Aus diesen Gründen empfiehlt sich eine Integration von Mechanismen dezentraler Störungsbehandlung in die Steuerung, eine aufgabenorientierte Informationsaufbereitung und Möglichkeiten für direkte Eingriffe zur Störungsbehebung (nach Reinhart u.a. 1995).

Aus Anwendersicht sind insgesamt gesehen Systemlösungen vorteilhaft, die eine Integration verschiedener Steuerungen erlauben, leicht anzupassen sind, aus wiederverwendbaren Modulen (z.B. für die Weiterentwicklung von Systemen) bestehen und einheitlich bedient werden können. Es besteht Bedarf an

- der Verwendung einer einheitlichen Plattform,
- der Möglichkeit für die Integration von Modulen in Systeme,

- der Konfigurierbarkeit von Applikationen und
- der Anwendung durchgängiger Informationsmodelle.

Für eine umfassende Systemlösung bietet sich die Methode der objektorientierten Modellierung an. Mit dieser Methode sind auf der Grundlage von Architektur- und Kommunikationsobjekten Konzepte für offene Steuerungsarchitekturen (Pritschow 1994; Weck u.a. 1993) wie auch auf der Grundlage von Bearbeitungsobjekten (s. den Beitrag von Storr und Itterheim in diesem Band), Meß- und Planungsobjekten (Laubscher und Rey in diesem Band) und anderen Objekten Konzepte für durchgängige Informationsmodelle entstanden. Derartige Konzepte lassen auch die Nutzung von Standard-Hard- und -Software (mit Kostenvorteilen bei der Entwicklung) zu. Auf diese Weise ist es möglich, daß Anlagen und Maschinen auch über PC gesteuert werden können. Es wird weiter möglich, Standard-Software zur nutzeradäquaten, d.h. tätigkeitsorientierten Gestaltung von Benutzeroberflächen zu verwenden. Darüber hinaus gibt es vielfältige Kopplungsmöglichkeiten, z.B. mit der Integration von SPS-Funktionen bei der Fertigung, aber auch mit anderen Systemen, wie z.B. solchen für die Auftragsabwicklung und Produktionslogistik. Auch die Anwendung neuartiger Methoden wird erleichtert, wie etwa beim Einfahren die Nutzung manueller Bedienelemente und transformierter Information aus dem Arbeitsraum von Maschinen (z.B. von Körperschall (Martin 1995)) oder bei der Störbehandlung durch die Nutzung von Petrinetzen und Agentenfunktionen (Reinhart u.a. 1995).

Allerdings sollte bei der Eröffnung der vielen neuen Möglichkeiten nicht übersehen werden, inwieweit die Integration verschiedener Systeme nicht zu neuen Problemen - wie z.B. zu großer Informationsflut - führt. Einheitliche, an Tätigkeitssequenzen orientierte Benutzerstrukturen könnten hier der Schlüssel werden, um die Komplexität angemessen beherrschen zu können.

Werden die hier nur angesprochenen Konzepte in die Produktion eingeführt, wird die Arbeit an Anlagen und Maschinen zu einer objektorientierten Produktionsarbeit.

4. Arbeitspsychologisch und industriesoziologisch „kritische“ Fragestellungen bei objektorientierter Produktionsarbeit

Wie die Praxis lehrt, können mit ergonomisch gestalteten Benutzeroberflächen von Bedienfeldern Funktionen leichter gehandhabt und Informationen situationsadäquater sortiert werden. Die Steuerung von Anlagen und Maschinen über PC erlaubt in Zukunft hierfür zusätzlich noch den Einbezug weiterer marktgängiger Methoden, wie sie sich in der Bürokommunikation längst bewährt haben. Damit steigen die Gestaltungsmöglichkeiten für Benutzeroberflächen erheblich. Sie sollten sich jedoch nicht nur auf eine weitere Anwendung ergonomischer Prinzipien beziehen, sondern als Voraussetzung für eine tiefergehende Umstrukturierung genutzt werden. Damit keine Strukturbrüche zwischen technischen Systemen und Arbeitssystemen auftreten, sollte die Tätigkeitsorientierung im Vordergrund der Weiterentwicklung stehen.

Vorweg sei erst einmal betont, daß eine derartige Kritik konstruktiv gemeint ist. Auch frühere Kritiken aus arbeitspsychologischer und industriesoziologischer Sichtweise haben wichtige Beiträge für technische Entwicklungen erbracht, auch wenn sie beim Aussprechen zunächst einmal von technischer Seite zurückgewiesen worden sind. Zu verweisen sei hier auf die Mitte der 70er Jahre geäußerte Kritik hinsichtlich der Überschätzung der Leistungsfähigkeit von Systemlösungen mit zentralen Planungen und Kontrollen. Diese Kritik hat längst ihre Stichhaltigkeit erwiesen. Heute besteht Übereinkunft darüber, daß dezentrale Lösungen mit kleinen Regelkreisen wirtschaftlich und bedienerfreundlicher sind. Auch die Mitte der 80er Jahre geäußerte Kritik an der Überschätzung der Möglichkeiten, Erfahrungswissen bei der Arbeit mit Maschinen datentechnisch genau erfassen und vollständig in automatische Systeme einbringen zu können, ist mittlerweile genügend anerkannt. Es ist deshalb davon auszugehen, daß die hier vorgetragenen kritischen Anmerkungen ebenfalls sich als stichhaltig erweisen werden.

Der Einzug der PC-Welt in die Produktion erlaubt sicherlich die von Sozialwissenschaftlern schon länger geforderte Lösung von Problemen zur Verbesserung der Informationsflüsse im Sinne abteilungsübergreifender Kooperation, die leichtere Handhabung fertigungsfern erstellter Programme und eine fertigungsnahe Detailprogrammierung (bzw. Änderung von Bearbeitungsabschnitten), eine bessere Prozeßtransparenz und einen leichteren Zugang zu Informationsbeständen beim Einfahren und bei der Störungsbehebung.

Gleichwohl muß aus arbeitspsychologischer Sicht festgehalten werden, daß mit dem Einzug des PC in die Produktion Abgrenzungsprobleme zwischen reiner Informationsverarbeitung und der Bearbeitung mechanischer Prozesse zunehmen. Nicht mehr die Trennung von Planung und Ausführung (wie bisher) ist dann das Hauptproblem, sondern das der Prozeßnähe als Quelle von Erfahrung. Diese kann mehr mediatisiert sein (d.h. nur über Medien vermittelt, ohne direkte Sicht oder direkte Eingriffe), sie kann auch eher materiell sein (d.h. begleitet von direkter Wahrnehmung und unmittelbaren Eingriffen in die Bearbeitung). Wichtig ist ihr Verhältnis und der gegenseitige Bezug.

Werden Anlagen und Maschinen aus Arbeitssicherheitsgründen weiter verkapselt und nimmt ihre informationstechnische Einbettung zu, nimmt der Anteil der nur noch mediatisiert hergestellten Prozeßnähe zu. Dann kommt es allerdings darauf an, daß für diese mediatisierte Prozeßnähe ganz bestimmte Voraussetzungen gegeben sind. Soll tatsächlich Prozeßnähe hergestellt werden, ist es wichtig, die Objektklassifikation in den zugrundegelegten Informationsmodellen auch unter der Perspektive des Erfahrungsmachens und -anwendens vorzunehmen. Es geht darum, daß vor allem solche Objekte gewählt werden, die einen hohen „Wirklichkeitsbezug“ aufweisen. Dazu zählen Gegenstände des Arbeitshandelns (z.B. Werkzeuge oder Tabellen) und Operationen (z.B. das Bearbeiten von Werkstücken mit Werkzeugen oder das Aufrufen von Informationen und das Verändern von Werten). Unter der Perspektive des Erfahrungsaustauschs entlang abteilungsübergreifender Verfahrensketten sind insbesondere solche Objekte vorzuziehen, die in verschiedenen Bereichen Wirklichkeitscharakter haben (z.B. Bearbeitungsobjekte, die eine Geometriesicht - typisch bei komplexer Programmierung - und eine Werkzeugsicht - typisch für die Fertigung - erlauben). Die Herstellung mediatisierter Prozeßnähe ist andererseits auch abhängig von den Ein- und Ausgabetechniken beim Umgang mit Objekten, bei der Erstellung von Übersichten und beim Vergleich von Informationen.

Unter der Perspektive des Erfahrungsmachens und -anwendens sollten vor allem die auf die Arbeit mit bestimmten Maschinen und Anlagen bezogenen Tätigkeitssequenzen Referenzmodell für die Konfiguration sein, d.h. für die Auswahl von Objekten und Operationen sowie der Ein- und Ausgabetechniken. Unter der Maßgabe, die aufgrund technischer Komplexität der Systeme wachsenden Informationsfluten zu beherrschen, kommt es vor allem darauf an, daß die Nutzer ihren „Handlungslogiken“

folgen können, wie sie es bei ihrer Arbeit gewohnt sind. Auf diese Weise wird der PC zu einem neuen Werkzeug. Bei manueller Bearbeitung sind es z.B. bestimmte Unterlagen, Betriebsmittel und Vorgehensweisen für die Orientierung hinsichtlich der Bearbeitung wie auch für die Durchführung einzelner Bearbeitungsschritte insgesamt (im Detail) (s. den Beitrag von Schulze u.a. in diesem Band). Entscheidend ist, daß aktive Informationsaufbereitung möglich ist, die schrittweises exploratives Vorgehen zuläßt. Im Vergleich von Daten und Informationsangeboten entsteht die relevante Information endgültig „im Kopf“.

Hierfür bedarf es vor allem einer Kopplung mediatisierter Prozeßnähe und materieller Prozeßnähe. Gekoppelte Prozeßnähe kann beim Optimieren beispielsweise durch Override-Einsatz oder manuell ausgeführte Bearbeitungsschritte und verbesserte Prozeßtransparenz hergestellt werden, beim Messen durch Sichtbarmachung des Zusammenhangs von Meß- und Bearbeitungsprogramm und durch manuelles Messen mit Meßgeräten; bei der Störungsbehandlung z.B. durch Visualisierung von Systemabläufen, Aufzeigen bisheriger Fehlerquellen, Abfragemöglichkeiten spezieller Zusammenhänge, Hinweise für die Störungsbehebung sowie manuelle Beseitigung der Störung.

Aus organisationspsychologischer und industriesoziologischer Sicht ist weiter zu fragen, inwieweit die interpersonelle Arbeitskoordination im Betrieb durch die neuen technischen Kommunikationskonzepte gefördert wird. Grundsätzlich läßt sich das Prinzip der Objektorientierung für die Bildung technischer Systeme auch als Prinzip der Organisationsgestaltung verwenden, z.B. zur Bildung dezentraler Fertigungseinheiten oder Inseln für die Bearbeitung von Produktionssegmenten (Klotz 1993).

Neuere Ergebnisse der Organisationsforschung weisen jedoch darauf hin, daß der Forderung nach Dezentralisierung auch Grenzen gesetzt sind. Bei dezentralen Systemlösungen mit durchaus verbesserten Zugriffen der Nutzer bleiben sehr wohl konkurrenzinduzierte Bestrebungen für die Abgrenzung innerhalb von Betrieben erhalten oder nehmen sogar zu, da die Austauschbeziehungen der dezentralen Einheiten untereinander keineswegs symmetrischer Natur sind. Es existieren beträchtliche Ungleichgewichte und positionelle Zuordnungen. In der Praxis lassen sich deshalb auch Rezentralisierungstendenzen ausmachen (Hirsch-Kreinsen 1995). Es muß deshalb davon ausgegangen werden, daß in Zukunft verschiedene Formen von Gruppen- und Einzelarbeit mit zentraler

und dezentraler Zuordnung nebeneinander existieren werden, da diese Spannung Impulse für innovative Prozesse auslöst und eine derartige Struktur eine noch weitergehende Differenzierung in der Kundenorientierung zuläßt.

Hauptproblem ist deshalb nicht mehr die generelle Trennung zentraler Bereiche mit der Konzentration von Planung und Kontrolle gegenüber dezentralen Bereichen mit der Durchführung von Herstellungsaufgaben, vielmehr geht es bei struktureller Heterogenität um die Kommunikationsform bei der Arbeitskoordination innerhalb von Abteilungen, zwischen Abteilungen und von Betrieben mit Kunden. Erfahrungsaustausch (insbesondere über Zustands- und Leistungsbewertungen) kann direkt (in Teams, in Besprechungen usw.) oder indirekt (über Einsatz technischer Medien und Werkzeuge) erfolgen. Auch hier sind (wie bei der Prozeßnähe) ihr Verhältnis zueinander und der gegenseitige Bezug entscheidend.

Nach wie vor ist z.B. zu beobachten, daß Arbeitskräfte mit Managementfunktionen und Projektteams direkte Kommunikationsformen, die ein Nachfragen und gegenseitiges Argumentieren erlauben, bevorzugen. Da Lernen durch Vermittlung von Kenntnissen, des Erfahrungsaustauschs und des Erfahrungsmachens im Prozeß geschieht, werden durch die Möglichkeit direkter Kommunikation die Lernchancen im Betrieb verteilt. In einer durchgängig lernenden Organisation ist jeder auch an der direkten Kommunikation beteiligt. Noch ist völlig offen, ob sich im Betrieb als Folge des Einsatzes neuer Kommunikationstechniken durchgehend andere Beziehungsgeflechte und -rollen als bisher ausbilden und „Organisationskulturen“ mit multiplen Identifikationsmöglichkeiten entstehen.

Schließlich ist aus industriesoziologischer Sicht noch bedeutsam, wie die Kooperation zwischen Anwendern, Maschinenherstellern und Systemtechnikherstellern organisiert ist, d.h. inwieweit Anwender (und hier vor allem die Endnutzer) in die Produktentwicklung einbezogen werden und inwieweit Erfahrung von Anwendern (insbesondere auch der Endnutzer) in die Planungen von Herstellern rückgekoppelt wird.

Bisher wurden von Herstellerseite auf der Grundlage von Funktionsmodellen Maschinen und Anlagen entwickelt. Die meist nicht ausdrücklich ausgesprochene Grundannahme war dabei, daß die Handhabung nur der implementierten Logik zu folgen brauche, um mit den Funktionen die

vorgegebene Leistung zu erzielen. Der eigentliche Betrieb der Anlage wurde demgegenüber weniger berücksichtigt. Aus diesem Grunde wurde vor allem vernachlässigt, daß es situationsspezifische Ereignisse gibt, die mit den vorgesehenen Funktionen nur aufwendig bewältigt werden können, und daß Anlagen und Maschinen verschleßen und Störungen auftreten, die sich nur schwer sensorisch erfassen lassen, z.B. bei der Verschmutzung von Sensoren durch Kühlschmiermittel oder Störungsverursachung durch aufliegende Späne. Großanwender haben deshalb aufgrund dieser Schwierigkeiten mit der Integration und Handhabung verschiedener Steuerungen ihre eigenen Spezifikationen entwickelt, an denen sich die Hersteller orientiert haben. Der Bedarf kleiner und mittlerer Anwender fiel dagegen bisher weniger ins Gewicht (bzw. wurde allenfalls als Nische von kleineren Herstellern aufgegriffen).

Offene Systemarchitekturen, objektorientierte Informationsmodelle und die Verwendung von Hardware- und Software-Modulen lassen hier ganz andere Kooperationsformen gemeinsamer Wertschöpfung zu. Vor allem läßt sich der Einbezug von Endnutzern in Wertschöpfungsketten durchaus, im Rahmen von Prototyping, realisieren.

Wie die Produktangebote zeigen, sind es vor allem bisher kleinere Firmen gewesen, die Nutzerbedarf in diesem Sinne berücksichtigt haben. Für eine breite Umsetzung dieser Produkte hat es aber meist nicht gereicht. Hier ist notwendig, daß viele Anwender und vor allem große Anwender ebenfalls ähnliche Forderungen aufstellen.

Für die möglichen Kooperationsgefüge bestehen verschiedene Variationsmöglichkeiten: die Zusammenarbeit großer Anwender und Hersteller, die System- und Technologieführerschaft eines großen Herstellers, aber auch der Zusammenschluß mehrerer kleiner Hersteller für Speziallösungen und Module (Rose 1995). Die gegenwärtige Globalisierung von Produktion und Entwicklung schafft hier noch eine zusätzliche Dynamik (insbesondere im Hinblick auf den Einbezug von Nutzerbedarfen), deren Folgen noch nicht absehbar sind.

Literatur

- Böhle, F.; Rose, H.: Technik und Erfahrung - Arbeit in hochautomatisierten Systemen, Frankfurt/New York 1992.
- Fechter, Th.: Neue Wege in der NC-Technik. In: H.W. Kurth (Hrsg.): Entwicklungsmanagement - Simultaneous Engineering, Herborn 1994, S. 316-325.
- Hartmann, M.; König, B.: Standortsicherung durch Innovation - Grundlagen zukünftiger Strategien und Prozesse. In: B. Lutz u.a. (Hrsg.): Produzieren im 21. Jahrhundert, Frankfurt/New York 1996, S. 145-192.
- Hirsch-Kreinsen, H.: Dezentralisierung: Unternehmen zwischen Stabilität und Desintegration. In: Zeitschrift für Soziologie, Heft 6, 24. Jg., 1995, S. 422-435.
- Klotz, U.: Vom Taylorismus zur Objektorientierung. In: H. Scharfenberg (Hrsg.): Strukturwandel in Management und Organisation, Baden-Baden 1993, S. 161-200.
- Martin, H. (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995.
- Politsch, H.: CIM braucht offene Architekturen. In: Technische Rundschau, Heft 8, 85. Jg., 1993, S. 20-26.
- Pritschow, G.: Wozu „offene Steuerungssysteme?“ In: W. Kunert (Hrsg.): Menschen. Maschinen. Märkte, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1994, S. 115-131.
- Reinhart, G.; Köhne, T.; Koch, M.R. (iwb.): Forschungsbericht „Autonome störungstolerante Produktionszellen“, AIF 9068, VDW, hektogr., München, Oktober 1995.
- Rose, H.: Herstellerübergreifende Kooperation und nutzerorientierte Technikentwicklung als Innovationsstrategie. In: H. Rose (Hrsg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement, Frankfurt/New York 1995, S. 195-218.
- Schumann, M.; Baethge-Kinsky, V.; Kuhlmann, M.; Kurz, C.; Neumann, U.: Trendreport Rationalisierung - Automobilindustrie, Werkzeugmaschinenbau, Chemische Industrie, Berlin 1994.
- Schüpbach, H.: Prozeßregulation in rechnergestützten Fertigungssystemen, Zürich/Stuttgart 1994.
- Weber, W.: Psychologische Analyse und Bewertung computergestützter Facharbeit, Berlin 1994.
- Weck, M.; Koring, A.; Klein, F.: Offene NC-Systeme, Grundlage herstellerunabhängiger Flexibilität. In: VDI-Z, Heft 5, 135. Jg., 1993, S. 51-55.

Objektorientierte Anwendungsentwicklung - Von der maschinenzentrierten zur menschen- orientierten Sichtweise

1. Einleitung
2. Zwei Zielsetzungen der Softwareentwicklung
3. Anwendungsorientierte Softwareentwicklung
4. Leitbild und Entwurfsmetaphern
5. Eine evolutionäre Vorgehensweise
6. Zusammenfassung

1. Einleitung

Softwaresysteme sind heute in weiten Bereichen der Wirtschaft und Wissenschaft unverzichtbarer Bestandteil des täglichen Arbeitslebens. Eine zentrale Aufgabe der Softwaretechnik ist, die methodischen Voraussetzungen zu schaffen, damit Softwaresysteme gemäß den Anforderungen aus der Praxis entwickelt und eingesetzt werden können. Dazu hat die Softwaretechnik eine Vielzahl von Methoden, Techniken und Hilfsmitteln bereitgestellt. Trotz allem scheinen die schon 1968 auf der ersten Softwaretechnik-Konferenz in Garmisch benannten Probleme (vgl. Naur, Randell 1969) nach wie vor unter dem Schlagwort „Softwarekrise“ präsent. Dies belegen auch Studien (Neumann 1985), die zeigen, daß weder der Entwicklungsprozeß von Software noch die Qualität der daraus resultierenden Produkte den Anforderungen genügen. Andererseits kann heute niemand ernsthaft widersprechen, wenn auf die Vielzahl erfolgreich entwickelter und eingesetzter Softwaresysteme hingewiesen wird.

Dieser scheinbare Widerspruch läßt sich auflösen, wenn wir differenzierter betrachten, welche Softwaresysteme erfolgreich eingesetzt werden und wo bereits in der Entwicklung teils unüberwindliche Probleme auftauchen. Wir werden dies im folgenden unter den Stichwörtern „Automatisierung von Routinetätigkeit“ versus „Unterstützung von Expertentätigkeit“ tun. Wir sagen, daß der Bereich der Automatisierung von der klassischen Softwaretechnik gut beherrscht wird, aber daß wir zur Unterstützung von Expertenarbeit radikal umdenken müssen.

Um dieses Umdenken zu charakterisieren, führen wir zunächst den Begriff der *Anwendungsorientierung* ein. Anwendungsorientierung zielt auf die Herstellung benutzungsadäquater und technisch hochwertiger Softwaresysteme, mit denen die Arbeit qualifizierter Anwender unterstützt werden kann. Dazu sind neben den eigentlichen softwaretechnischen Konzepten vor allem anwendungsnahe und menschenzentrierte Ansätze notwendig. Das Zusammenspiel dieser scheinbar gegensätzlichen Konzepte werden wir im weiteren betrachten. Grundlegend sind dabei folgende Annahmen:

- Softwareentwicklung ist als Lern- und Kommunikationsprozeß zu betrachten. Dabei erschließen sich die beteiligten Personengruppen in einer zyklischen Vorgehensweise ein gemeinsames Problemverständnis. Komplementär zu diesem Problemverständnis werden gemeinsame Entwicklungsziele in Form von Produkten vergegenständlicht.
- Dazu benötigt Softwareentwicklung tragfähige und verständliche Leitbilder, die im Entwicklungsprozeß und für den Einsatz den gemeinsamen Orientierungsrahmen vorgeben.
- Eine so verstandene Softwareentwicklung findet auf der Basis geeigneter anwendungsorientierter Dokumente statt, die zum Gegenstand der Kommunikation und Zusammenarbeit aller beteiligten Gruppen werden.

Stellen wir nun die Frage, welches softwaretechnische Paradigma geeignet erscheint, um die Forderungen der Anwendungsorientierung umzusetzen, so kann die Antwort beim heutigen Stand des Wissens nur lauten: die „Objektorientierung“.

Objektorientierung ist in den letzten Jahren zu einer einheitlichen *Sichtweise* geworden, mit der die Aufgabenbereiche einer Organisation analysiert, modelliert und informationstechnisch unterstützt werden können. Damit ist Objektorientierung weit über das hinausgewachsen, was in den 70er und 80er Jahren als Technik der Programmierung mit Hilfe von Klassen und Vererbungshierarchien aufkam. Objektorientierung, in Verbindung mit einem geeigneten Leitbild und dazu passenden Entwurfsmetaphern, bildet für uns die Grundlage zur Realisierung der Anwendungsorientierung.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen wurde von uns und anderen eine methodische Herangehensweise entwickelt, die die Anwendungsorientierung durch die Kombination der objektorientierten und evolutionären Sichtweise fördert. Sie stellt dazu die Entwurfsmetaphern von Werkzeug, Automat und Material für die Entwicklung von unterstützenden Anwendungssystemen zur Verfügung (vgl. Gryczan, Züllighoven 1992).

Wir erläutern unsere Überlegungen zur Anwendungsorientierung, indem wir zunächst die grundlegenden Sichtweisen der Automatisierung und der Unterstützung charakterisieren. Daraus leiten wir zwei Arten der Entwicklung von Anwendungssoftware ab. Um die von uns vertretene Entwicklungsrichtung zu erläutern, präsentieren wir dann die Grundbegriffe der Objektorientierung und stellen sie in einen Zusammenhang mit unserem methodischen Ansatz. Abschließend skizzieren wir eine Vorgehensweise zur Entwicklung anwendungsorientierter Softwaresysteme.

2. Zwei Zielsetzungen der Softwareentwicklung

In der Softwareentwicklung können wir zwei grundlegende Sichtweisen unterscheiden, die wir Maschinenkategorie und Umgangskategorie nennen.

In der *Maschinenkategorie* betrachten wir Software zur Steuerung von Rechnern. Es stellt sich die Frage, mit welchen technischen und formalen Mitteln Softwaresysteme analysiert und unter Berücksichtigung der vorhandenen Rechnerplattform konstruiert werden können. Dabei sind Qualitätskriterien wie Ablaufverhalten, Speicherbedarf, logische Konsi-

stenz und die Übereinstimmung der Implementation mit einer spezifizierenden Beschreibung maßgebend.

In der *Umgangskategorie* betrachten wir Software in der Herstellung und Verwendung unter dem Aspekt der beteiligten Personen. Es stellt sich daher die Frage, wozu ein Softwaresystem in seiner Entwicklung und Verwendung „gut ist“. Dabei sind Humankriterien für menschliches Arbeitshandeln wie Entscheidungsspielraum, Strukturierbarkeit und Variabilität entscheidend (vgl. Dunckel u.a. 1993).

Auf der Grundlage dieser beiden Kategorien sind zwei gegensätzliche Zielsetzungen bei der Softwareentwicklung entstanden, die wir mit Automatisierungssicht und Unterstützungssicht bezeichnen.

Mit der *Automatisierungssicht* ist die Vorstellung verbunden, daß menschliches Arbeitshandeln prinzipiell durch einen programmierten Ablauf modelliert und gesteuert werden kann. Der programmierte, steuernde Ablauf soll dabei ein allgemeines Verfahren festlegen, das bis auf Datenein- und ausgabe aus dem konkreten Arbeitskontext herausgelöst ist. Algorithmen als Mittel zur Steuerung von Rechnern sollen auch das menschliche Arbeitshandeln steuern. Damit steht die Automatisierungssicht in der Tradition einer Weltsicht, die menschliches Verhalten in den Kategorien einer Maschine erklärt (vgl. Budde, Züllighoven 1990).

Der Anspruch, das menschliche Arbeitshandeln zu regulieren und zu steuern, findet sich auf verschiedenen Ebenen:

- Steuerung des Arbeitshandelns im Anwendungsbereich: Dort soll mit dem Einsatz von Software ein allgemeines Verfahren durchgesetzt werden, welches das Arbeitshandeln am einzelnen Arbeitsplatz möglichst bis auf Datenein- und -ausgabe aus dem konkreten Arbeitskontext normiert.
- In der Softwareentwicklung wird Herstellung des Produkts Software als bindendes Verfahren verstanden. Dabei legt eine Vorschrift fest, in welcher zeitlichen Reihenfolge welche Teilprodukte (sog. Meilensteindokumente) wie erstellt werden sollen. Dieses Verständnis zeigt sich sowohl bei Methoden der Programmentwicklung als auch bei Maßnahmen zur Organisation des Entwicklungsprozesses, namentlich bei den sog. Phasenmodellen der Softwareentwicklung.

- Auf einer höheren Ebene wird die Prozeßmodellierung einer ganzen Organisation angestrebt. Dies umfaßt sowohl Organisationen des Anwendungs- als auch des Entwicklungsbereichs. In beiden Bereichen wird unter dem Leitbild der Fabrik die Dequalifikation und Austauschbarkeit der Handelnden angestrebt. Schlagworte sind hier „Business Process Reengineering“ und „Software Factory“. In beiden Bereichen zeigt sich deutlich, daß keine Unterscheidung zwischen menschlicher Handlung und maschineller Instruktionsausführung getroffen wird.

Eine „Softwaretechnik für Maschinen“ auf der Basis der Automatisierungssicht kann keine Grundlage für eine menschenzentrierte und anwendungsnahe Softwaretechnik sein. Deshalb orientieren wir uns an der Unterstützungssicht.

Die *Unterstützungssicht* mißt der menschlichen Arbeit eine eigenständige Qualität gegenüber der maschinellen Routine zu (vgl. Volpert 1994). Die Grundannahme ist, daß wesentliche Aspekte qualifizierter menschlicher Arbeit durch Maschinenmodelle weder abgebildet werden können noch sollen. Menschliche Arbeit bedeutet dann, daß Benutzer von Softwaresystemen als Experten ihres Arbeitsgebietes verstanden werden, die in ihrem Arbeitshandeln Computer als Arbeitsmittel einsetzen. Charakteristische Merkmale dieser Sichtweise sind u.a., daß die Initiative bei der Computerverwendung vom Benutzer ausgeht und daß die Kontrolle über den Ablauf der Arbeitsschritte beim Benutzer liegt. Daraus wird deutlich, daß hier die Umgangskategorie bei der Softwareentwicklung im Vordergrund steht.

Mit der Unterscheidung von Automatisierungs- und Unterstützungssicht versuchen wir, die Softwareentwicklung von den Maschinenmodellen des Handelns zu lösen und den Menschen in den Mittelpunkt zu stellen. Dieses Umdenken bedeutet aber nicht, die technischen Qualitätskriterien zu ignorieren. Das Gegenteil ist der Fall. Erst die sichere Anwendung des softwaretechnischen „Handwerkszeugs“ ermöglicht es, Anwendungssoftware von ausreichender „innerer“ Produktqualität zu konstruieren, die auf dieser Basis menschengerecht entwickelt und eingesetzt werden kann. Es gilt also, die Maschinenkategorie in den Dienst der Umgangskategorie zu stellen.

In der objektorientierten „Welt“ ist die Trendwende von der Automatisierung zur Unterstützung (manche sprechen vom „Paradigmenwechsel“)

von Beginn an angelegt. Die erste objektorientierte Sprache Simula ist in den 60er Jahren zur Lösung von Anwendungsproblemen des Operation Research entstanden. Explizit im Sinne der Unterstützungssicht hat sich der geistige Vater von Smalltalk, Alan Kay, geäußert. In seiner Vision des Computers für jedermann formuliert er ebenfalls Ende der 60er Jahre die Leitlinie: „Do not automate the work you are engaged in, only the materials“.

3. Anwendungsorientierte Softwareentwicklung

In den letzten Jahren ist deutlich geworden, daß Softwareentwicklung nicht nur eine Frage der Programmiertechnik ist, sondern daß die wesentlichen Weichen für die Systemgestaltung bereits bei der *Anwendungsanalyse* gestellt werden, also bei der Art und Weise, wie wir uns ein Bild von der Welt der Anwendung machen. Damit ist ausgedrückt, daß die Anwendungsanalyse ein aktiver Prozeß ist, in dem ein Verständnis von dem geschaffen wird, was als Problem und seine Lösung zu verstehen ist. Damit wird in der Analyse festgelegt, welche Aspekte der Anwendung im weiteren modelliert werden und welche nicht. Was in der Anwendungsanalyse prinzipiell übersehen oder fehlinterpretiert wird, kann durch die weiteren Entwicklungsschritte nicht wieder behoben werden.

Die Anwendungsanalyse ist aus unserer Sicht insofern mit der Gestaltung des Softwaresystems eng verzahnt, wobei folgende Fragen im Mittelpunkt stehen:

- Welche Aufgaben sind im Anwendungsgebiet relevant?
- Mit welchen Hilfsmitteln und auf welche Art und Weise werden diese Aufgaben erledigt?

Die Gestaltung des Anwendungssystems betrachtet die dazu komplementären Aspekte:

- Wie können ausgewählte Aufgaben in der Anwendungswelt mit neuen geeigneten (Software-)Hilfsmitteln unterstützt werden?
- Wie lassen sich diese Hilfsmittel implementieren?

Softwareentwicklung in dieser Sicht ist also zentral an den fachlichen Aufgaben der Anwendungswelt orientiert, und Systemgestaltung geht damit weit über das konventionelle Thema „Benutzerfreundlichkeit“ hinaus. Entscheidend ist demnach nicht, ob beim „Layout“ eines Systems ein Menü oder eine Knopfleiste verwendet wird, sondern welches Bild Entwickler von den anwendungsfachlichen Tätigkeiten und den sie realisierenden Handlungen haben und welche Möglichkeiten der Unterstützung vorhandener und neuer Aufgaben sie sehen. Diese Fragen werden auch in der Arbeitspsychologie (vgl. Volpert 1994) und teilweise in der Softwareergonomie (vgl. Maaß, Oberquelle 1992; Rolf 1992) gestellt.

3.1 Objektorientierte Modellierung

Wir haben gesagt, daß die Objektorientierung den Schlüssel zur Realisierung der Prinzipien der Anwendungsorientierung bietet. Die Frage bleibt, wie die vorangegangenen Überlegungen zur Anwendungsorientierung mit Objektorientierung zusammenhängen. Denn Objektorientierung als Softwaretechnik stellt zunächst nur Mittel bereit, um ein Anwendungssystem mit Hilfe von Objekten, Klassen und Vererbung zu modellieren und zu programmieren. Damit sind zwar die Elemente eines Modells von Software vorgegeben, aber es bleibt offen, in welcher Art und Weise modelliert werden soll. Um diese Modellelemente anwendungsorientiert zu nutzen, bedarf es einer entsprechenden Interpretation.

Im folgenden Abschnitt werden die Modellelemente der objektorientierten Programmierung erläutert. Dabei zeigen wir, wie sie im Rahmen der Anwendungsorientierung verwendet werden können.

3.1.1 Modellelemente der Objektorientierung

Das in diesem Abschnitt verwendete Begriffsverständnis beruht wesentlich auf Wegner (1990), der eine allgemein akzeptierte Klärung der Begriffe Objekt, Klasse und Vererbung vorgelegt hat. Unter einem *Objekt* versteht Wegner:

„Objects are collections of operations that share a state. The operations determine the messages (calls) to which the object can respond, while the shared state is hidden from the outside world and is accessible only to the object's operations“ (ebd., S. 8).

Im Zentrum des objektorientierten Modells steht also der Objektbegriff, in dem Operationen und Daten zu einer Einheit zusammengeführt werden. Dies ist der entscheidende Schritt über die konventionelle Softwareentwicklung hinaus, in der bewußt Daten- und Funktionsmodellierung getrennt wurden. Entscheidend am Objektbegriff ist, daß hier zwischen den aufrufbaren und damit sichtbaren *Operationen* eines Objekts und seinem verborgenen lokalen *Zustand* unterschieden wird. Jede Änderung des Objektzustands, aber auch seine Prüfung ist ausschließlich mit Hilfe der sichtbaren Operationen, d.h. Prozeduren oder Funktionen, möglich. Operationen sind die „atomaren“ Einheiten an der Schnittstelle, die das „Verhalten“ eines Objekts festlegen.

Damit sind in der Objektorientierung zwei wesentliche Konstruktionsprinzipien verwirklicht. Zum einen das Geheimnisprinzip (vgl. Parnas 1972), nach dem eine Softwarekomponente nur wesentliche Merkmale (hier die Operationen) offenlegt und alle unwesentlichen Details (hier die Realisierung des inneren Zustands) verbergen soll. Dazu kommt das Prinzip der Datenabstraktion, nach der die Schnittstelle einer Komponente über ihr Verhalten charakterisiert wird und dabei von der konkreten Repräsentation der Daten abstrahiert werden soll.

Mit Klassen werden technisch solche Objekte beschrieben, die als gleichartig angesehen werden. Unter einer *Klasse* verstehen wir im Sinne von Wegner:

„Classes serve as templates from which objects can be created. [...] We may think of a class as specifying a behavior common to all objects of the class. The instance variables specify a structure (data structure) for realizing the behavior. The public operations of a class determine its behavior while the private instance variables determine its structure“ (Wegner 1990, S. 10).

Hier wird deutlich, daß Klassen die organisierenden Einheiten eines Programms sind, anhand derer zur Laufzeit die entsprechenden Objekte als Exemplare ihrer jeweiligen Klasse erzeugt werden können.

In objektorientierten Programmiersprachen lassen sich Klassenbeschreibungen in Hierarchien anordnen. Dazu steht das sog. Vererbungskonzept zur Verfügung. Der *Vererbungsmechanismus* wird von Wegner wie folgt definiert:

„Inheritance allows us to reuse the behavior of a class in the definition of new classes (representing behaviors)“ (ebd., S. 10).

Eine Klasse, von der geerbt wird, bezeichnen wir als Oberklasse, eine Klasse, die erbt, als Unterklasse (vgl. Meyer 1988; Kilberth u.a. 1994). Sind Vererbungshierarchien baumförmig, d.h., eine Klasse hat genau eine Oberklasse und beliebig viele Unterklassen, dann wird von *Einfachvererbung* gesprochen. Kann eine Klasse mehr als eine direkte Oberklasse haben, sprechen wir von *Mehrfachvererbung*.

Sprachen, in denen Objekte auf der Basis von Klassenbeschreibungen erzeugt werden können und die den Vererbungsmechanismus zur Verfügung stellen, heißen *objektorientierte Programmiersprachen*.

3.1.2 Anwendungsorientierte Interpretation der Modellelemente

Das technische objektorientierte Modell soll jetzt im Sinne der Anwendungsorientierung so ergänzt werden, daß Kriterien klar werden, nach denen Objekte und Klassen modelliert werden. Dazu legen wir fest:

„Objekte entsprechen fachlich den in einem Anwendungsbereich relevanten Gegenständen. Diese Gegenstände sind charakterisiert durch die Art und Weise, wie in den verschiedenen Anwendungssituationen mit ihnen gearbeitet wird“ (Kilberth u.a. 1994, S. 9).

Die Gegenstände der täglichen Arbeit stehen damit im Mittelpunkt der objektorientierten Anwendungsanalyse und sind der Ausgangspunkt für den Entwurf. In der fachlichen Arbeit verwendete Gegenstände werden zunächst anhand ihrer fachlichen Umgangsformen beschrieben.

Unter einer *Umgangsform* verstehen wir die Art und Weise, wie ein Gegenstand behandelt werden kann und welches „Verhalten“ er zeigt, d.h., welche Handlungen mit einem Gegenstand durchgeführt werden können und was an ihm an Reaktionen sichtbar ist. Diese Art der konzeptionellen Beschreibung unterscheidet sich von eher simulierend abbildenden Beschreibungen, die mehr die äußere Form eines Gegenstands in den Mittelpunkt stellen.

Die konzeptionellen Beschreibungen relevanter Gegenstände der täglichen Arbeit werden technisch durch Objekte repräsentiert. In Objekten sind zusammengehörige und in der Anwendungswelt sinnvolle Umgangsformen als Operationen gekapselt. Ein Objekt bietet also eine Menge von Operationen an, mit denen sein Zustand verändert oder inspiziert werden kann.

Bei der Betrachtung eines einfachen Ordners werden schon einige grundlegende Merkmale unseres Modellierungsansatzes deutlich: Mit dem konkreten Gegenstand („dieser Ordner“) werden in einem gegebenen Arbeitskontext (z.B. Büroarbeit) ein generelles Konzept („ein Ordner“) und charakteristische Umgangsformen verbunden, z.B. das Einfügen eines Dokuments in den Ordner oder das Herumblättern. Die Umgangsformen sind bereits verstanden, wenn der Begriff „Ordner“ verwendet wird; dieses Wissen wird aber bereits gebraucht, um einen Gegenstand überhaupt als Ordner erkennen zu können. Deswegen ist es aus einer anwendungsorientierten Sicht wichtig, einen Ordner über seine jeweils relevanten Umgangsformen zu modellieren und nicht anhand seiner inneren Struktur. Damit entspricht dem konkreten Ordnerexemplar im Modell ein Objekt, und der dahinterstehende Begriff wird als Klasse realisiert.

Da Konzepte und Umgangsformen und nicht die mimetische Repräsentation im Vordergrund der Modellierung stehen, können neben den materiellen auch nicht-materielle Gegenstände modelliert werden. So ist ein Girokonto für einen Mitarbeiter in einer Bank durch ganz bestimmte Umgangsformen charakterisiert. Auf ein Girokonto können z.B. Beträge eingezahlt oder ausgezahlt oder der aktuelle Kontostand abgefragt werden. Ein bestimmtes Girokonto zeigt die typischen Merkmale eines Gegenstandes:

- Es kann eindeutig identifiziert werden, z.B. durch eine Kontonummer; daraus folgt auch, daß es von anderen Konten unterschieden werden kann.
- Es verändert sich über die Zeit, z.B. weil durch Umgangsformen wie „einzahlen“ der Kontostand erhöht wird.
- Der Zustand eines Girokontos kann durch sondierende Operationen erkannt werden, z.B. durch die Abfrage des Kontostandes.

Wir haben bereits gesagt, daß gleichartige Gegenstände, d.h. Gegenstände, mit denen wir gleich umgehen, ein fachliches Konzept repräsentieren und durch einen Begriff bezeichnet werden. Diese Eigenschaft der menschlichen Sprache wird genutzt, um für jeden relevanten Begriff der Anwendungswelt eine Klasse zu modellieren. Klassenbildung drückt anwendungsorientiert also ein bestimmtes Verständnis der hinter den Gegenständen stehenden Konzepte aus.

Nachfolgende Darstellung gibt einen Überblick über die bisher eingeführten Begriffe unseres Ansatzes. Auf der linken Seite sind die für die Anwendungswelt relevanten Begriffe aufgeführt. Für jeden Begriff existiert auf der rechten Seite ein korrespondierender Begriff aus dem objektorientierten Modell. Es wird gezeigt, wie eng Begriffe der Anwendungswelt mit Begriffen der Objektorientierung zusammenhängen:

<i>Anwendungswelt</i>	<i>objektorientiertes Modell</i>
Gegenstand	Objekt
Umgangsform	Operation (Prozedur, Funktion)
Begriff, Konzept	Klasse

Begriffe des fachlichen und des technischen objektorientierten Modells

Fachliche Konzepte werden häufig in Form von Begriffshierarchien beschrieben. Im Sinne von Kilberth u.a. (1994) stellen wir fest:

„Solche fachlichen Begriffsgebäude sind in den verschiedenen Fachsprachen unterschiedlich stark ausgeprägt. Sie bilden die Grundlage der alltäglichen Zusammenarbeit; sie fördern aber auch das Verständnis bei der Einarbeitung in ein Anwendungsgebiet“ (ebd., S. 10).

Dahinter steht die Annahme, daß Begriffe und die damit verbundenen Konzepte nicht als isoliert zu verstehen sind, sondern in Zusammenhang mit anderen Begriffen erschlossen werden müssen. Daß diese These nicht (ausschließlich) durch unser Wissen über objektorientierte Techniken beeinflusst wird, zeigt die Arbeit des Psychologen Wygotski (1969), der sich auch mit der wissenschaftlichen Begriffsbildung beschäftigt hat. Er stellt fest,

„[...] daß der Begriff nur in einem System bewußt und willkürlich werden kann“ (ebd., S. 207).

Mit „willkürlich“ ist hier die Beherrschung des Begriffs gemeint; die Fähigkeit, einem Begriff eine Bedeutung zu geben und ihn in einem Zusammenhang mit anderen Begriffen setzen zu können. Noch deutlicher:

„[...] jeder Begriff [muß] mit dem ganzen System seiner Beziehungen der Gemeinsamkeit begriffen werden [...], das das ihm eigene Maß der Gemeinsamkeit bestimmt, [...]“ (ebd., S. 209).

So wird das Girokonto in einer Begriffshierarchie mit den Begriffen Konto, einem Oberbegriff, und dem Begriff Sparbuch verstanden. Abbildung 1 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Diese Begriffe werden durch die konzeptionelle Hierarchie aus der Anwendungswelt in eine Beziehung zueinander gebracht. Für die Interpretation der Abbildung ist weiterhin wichtig, daß die für das Konto charakteristischen Umgangsformen auch für die Begriffe Sparbuch und Girokonto gelten.

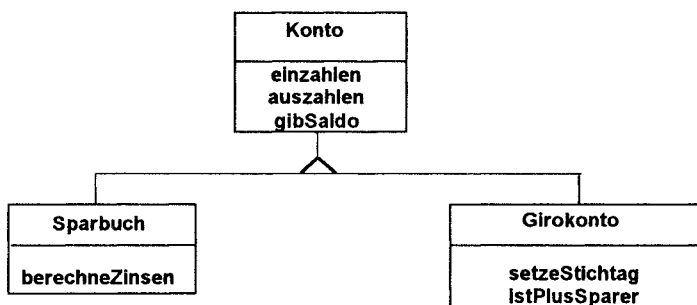


Abb. 1: Begriffshierarchie mit Oberbegriff Konto und Unterbegriffen Sparbuch und Girokonto

In diesem Kontext können wir nochmals auf den engen Zusammenhang von Anwendungsanalyse und Softwareentwurf hinweisen. Wenn wir Softwareentwicklung als Prozeß der Verallgemeinerung und der systematischen Reduktion von Komplexität auffassen, wird der Bezug zu den Überlegungen Wygotskis deutlich. Für ihn ist „sinnvolle Wahrnehmung“ verbalisierte und gegenständliche Wahrnehmung, und „Bewußtwerden ist der Bewußtseinsakt, dessen Gegenstand die Bewußtseinstätigkeit selbst ist“. Weiterhin bedeutet „sinnvolle Wahrnehmung“ nichts anderes als eine „verallgemeinerte Wahrnehmung“ (ebd., S. 205). Daraus zieht er den Schluß:

„Wenn Bewußtwerden Verallgemeinerung bedeutet, dann ist es ganz offensichtlich, daß Verallgemeinerung seinerseits nichts anderes bedeutet als Bildung eines Oberbegriffs, in dessen System der Verallgemeinerung der betreffende Begriff als Sonderfall eingeschlossen ist. Aber wenn hinter dem betreffenden Begriff der Oberbegriff entsteht, setzt er notwendigerweise nicht einen, sondern eine Reihe beigeordneter Begriffe voraus, zu denen der betreffende Begriff in Beziehung steht, die durch das System der Oberbegriffe bestimmt sind, sonst wäre der Oberbegriff in bezug auf den gegebenen kein übergeordneter Begriff. Dieser Oberbegriff nun setzt gleichzeitig eine hierarchische Systematisierung

auch der im Verhältnis zu dem gegebenen Begriff niedrige, ihm untergeordnete Begriffe voraus, mit denen er wiederum durch ein ganzes System von Beziehungen verbunden wird“ (ebd., S. 207 f.)

Damit ist die Anordnung von Begriffen zu einem System von Ober- und Unterbegriffen ein zentrales Merkmal des analytisch bewußten Umgangs mit Sprache. Wir nutzen dies für die objektorientierte Modellierung, um Begriffe eines fachlichen Zusammenhangs anhand der als gemeinsam erkannten Umgangsformen in einer Begriffshierarchie zu modellieren.

In dieser Interpretation des objektorientierten Modells wird die Generalisierung oder die Spezialisierung von Begriffen zu Ober- und Unterbegriffen durch den Vererbungsmechanismus ausgedrückt. Konsequenterweise ist die Begriffshierarchie der Anwendungswelt das vorwiegende Strukturierungsmerkmal für den fachlichen Kern objektorientierter Programme. Dabei muß betont werden, daß die Begriffe in den Hierarchien nicht „da sind“, sondern daß die Begriffsbildung in einem Prozeß des Bewußtwerdens der Projektbeteiligten stattfindet. Wir sprechen in diesem Zusammenhang auch von „Begriffsrekonstruktion“ und „sozialer Eingebundenheit“, um zu betonen, daß die Aneignung von Wortbedeutungen im Prozeß explizit und sozial vermittelt stattfindet.

Im Sinne einer konstruktiven Entwicklungsmethodik bleibt zu ergänzen, daß wir bei der Begriffsrekonstruktion das baumförmige Schema der Einfachvererbung bevorzugen. Dies zeichnet sich gegenüber der Mehrfachvererbung durch Einfachheit und Verständlichkeit aus. Damit ist ein Qualitätsmerkmal der zu konstruierenden Softwaresysteme formuliert. Damit soll nicht gesagt werden, daß menschliche Sprache nach Prinzipien der Einfachvererbung „funktioniert“. Wir finden diese Form der hierarchischen Begriffsbildung nur aus den gleichen Gründen der Einfachheit und Verständlichkeit in vielen Fach- und Wissenschaftssprachen.

Die hier verwendeten Begriffe sind in der folgenden Übersicht zusammengefaßt. Anwendungsorientierte und technisch orientierte Begriffe sind gegenübergestellt.

<i>Anwendungswelt</i>	<i>objektorientiertes Modell</i>
Spezialisierung, Generalisierung	Vererbung
Begriffshierarchie	Klassenhierarchie

Verbindung der Begriffe des fachlichen und des technischen objektorientierten Modells

Die Grundelemente der objektorientierten Programmierung sind jetzt vorgestellt und in den Zusammenhang der anwendungsorientierten Sichtweise gestellt. Damit soll keine schematische Überführung von Begriffen der Anwendungswelt in objektorientierte Modelle nahegelegt werden. Die Verbindung zwischen dem hier vorgestellten Modell und einer anwendungsorientierten Vorgehensweise wird vielmehr im weiteren aufgezeigt.

4. Leitbild und Entwurfsmetaphern

Bisher haben wir das Modell und seine Elemente für eine anwendungsorientierte Softwareentwicklung vorgestellt. Offengeblieben ist zweierlei:

- Wie soll ein anwendungsorientiertes Softwaresystem mit Hilfe des objektorientierten Modells gestaltet werden?
- Welche speziellen Merkmale hat ein Anwendungssystem zur Unterstützung qualifizierter Tätigkeiten?

Der Schlüsselbegriff zur Beantwortung dieser Fragen heißt „Leitbild“. Die Bedeutung von Leitbildern für die Anwendungsentwicklung wird von verschiedenen Autoren betont (vgl. Maaß 1994). Rolf betont den sinnstiftenden und handlungsleitenden Charakter von Leitbildern. Gleichzeitig begrenzen sie den möglichen Lösungsraum. Sie werden verständlich durch Metaphern (vgl. Rolf 1992). Brödner fügt diesen Gesichtspunkten noch einen weiteren hinzu. Nach seiner Ansicht sollen sie helfen, Arbeitsmittel menschengerecht und aufgabenangemessen zu gestalten (vgl. Brödner, Perkuhl 1991). Wir verwenden den Begriff Leitbild, um die jeweils vorherrschende Sichtweise für das Design von Softwaresystemen zu charakterisieren.

Unter einem *Leitbild* verstehen wir die grundsätzliche Sichtweise, anhand dessen ein Ausschnitt von Realität wahrgenommen, verstanden und gestaltet wird. Ein Leitbild umfaßt deshalb immer auch eine Wertvorstellung und eine Rollenzuweisung für Benutzer und Entwickler. Es ist damit für die Softwareentwicklung von großer Bedeutung.

Die Bedeutung von Leitbildern ergibt sich im Rahmen der hier geführten Diskussion aus der Gegenüberstellung der Automatisierungssicht

und der unterstützenden Sichtweise. Für die meisten der von uns betreuten Entwicklungsprojekte hat sich das Leitbild vom gut ausgestatteten Arbeitsplatz für qualifizierte Tätigkeit bewährt. Es beschreibt für Dienstleistungs- und Bürokontexte eine Zielsetzung aus der unterstützenden Sicht. Unter dem Arbeitsplatz für qualifizierte Tätigkeit läßt sich sowohl der Schreibtisch eines Kundenberaters einer Bank als auch die Werkbank eines Handwerkers fassen.

Gestaltungsziel dieses Leitbilds ist die Bereitstellung adäquater Arbeitsmittel und Gegenstände, die von Benutzern situativ unterschiedlich zur Erledigung ihrer Aufgaben verwendet werden können. Daraus ergibt sich, daß Benutzer solcher Softwaresysteme als qualifizierte Experten des Anwendungsbereichs betrachtet werden. Komplementär dazu ist die Rolle der Entwickler, die als qualifizierte technische Experten die adäquaten Arbeitsmittel und Gegenstände entwickeln und bereitstellen.

Bei der Charakterisierung dieses Leitbilds fällt auf, daß es weniger definitorischen als vielmehr Appelcharakter hat. Hier wird an einen gemeinsamen kulturellen Hintergrund von Erfahrungen und Vorstellungen appelliert, der durch das Leitbild benannt ist.

Ein Leitbild wird unterstützt und „ausgestaltet“ durch Entwurfsmetaphern. Eine Entwurfsmetapher ist eine bildhafte Vorstellung, die ein Leitbild fachlich und konstruktiv konkretisiert. Entwurfsmetaphern sind durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Sie sind eine bildhafte Vorstellung, die gegenständlichen Charakter haben.
- Sie dienen der Gestaltung von Softwaresystemen, indem sie den Entwicklungsprozeß für die Beteiligten verständlicher machen sollen.
- Sie strukturieren unsere Wahrnehmung und tragen zur Begriffsbildung bei, d.h., sie leiten unsere Vorstellung und Kommunikation über das, was fachlich analysiert und modelliert und technisch realisiert werden kann.

Die Entwurfsmetaphern müssen in das Leitbild „passen“. Die Vorstellung von den Entwurfsmetaphern darf nicht zu denen des Leitbilds im Widerspruch stehen. Für das Leitbild vom Arbeitsplatz für qualifizierte

Tätigkeiten sind die eng aufeinander bezogenen Entwurfsmetaphern Werkzeug und Material passend (vgl. Budde, Züllighoven 1990). Werkzeuge und Materialien gehören zu den grundlegenden Kategorien menschlicher Arbeit, die wir besonders im Anwendungskontext dieses Leitbildes vorfinden. Denn Menschen sind gewohnt, nicht nur im handwerklich produktiven Bereich, sondern auch bei der täglichen Büroarbeit Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstände zu unterscheiden, d.h., sie als Werkzeuge und Materialien zu begreifen.

Entwurfsmetaphern sollten sowohl eine fachliche als auch eine technische Interpretation besitzen. Die fachliche Interpretation entspricht der Umgangskategorie, die technische der Maschinenkategorie.

Durch die Wahl von Werkzeug und Material als den zentralen Entwurfsmetaphern wird zunächst eine Entscheidung innerhalb der Umgangskategorie getroffen. Diese Metaphern unterstützen einen Entwurf, bei dem nicht primär der Computer und seine technische Funktionsweise im Vordergrund stehen, sondern die fachlich adäquate Modellierung von Anwendungskonzepten. Ihre konstruktive Umsetzung in Software wird dann durch die Maschinenkategorie ermöglicht, wenn nämlich die Frage nach den technischen Konzepten, wie Objekte, Klassen und Vererbung, gestellt wird. Die Verwendung von Metaphern, die in beiden Kategorien eine Interpretation besitzen, ist die Grundlage der Herausbildung einer gemeinsamen Projektsprache der beteiligten Gruppen.

Soweit wir bisher Leitbilder und Entwurfsmetaphern vorgestellt haben, fällt auf, daß ihre Verwendung nicht zwingend auf die Objektorientierung begrenzt ist. Wir werden jedoch herausarbeiten, daß objektorientierte Konzepte eine technische Interpretation des fachlich begründeten Leitbilds vom Arbeitsplatz für qualifizierte Tätigkeiten und der dazu passenden Entwurfsmetaphern wesentlich erleichtern. Wir haben darüber in einer empirischen Studie berichtet (vgl. Bürkle u.a. 1995).

Im folgenden werden deshalb die beiden wesentlichen Entwurfsmetaphern, Material und Werkzeug, vorgestellt, um daran zu zeigen, wie anwendungsfachliche und technische Konzepte damit zusammengebracht werden können. Wir ergänzen diese Entwurfsmetaphern dann um den Automaten, der eine ins Leitbild passende Vergegenständlichung lästiger Routinen ermöglicht.

4.1 Die Entwurfsmetapher Material

Die objektorientierte Modellierung von Gegenständen als Materialien ist eine entscheidende Aktivität bei der Bildung eines objektorientierten Modells. Unter dem Begriff *Material* verstehen wir im folgenden:

Umgangskategorie: Ein Material ist im Rahmen einer Aufgabenerledigung ein Arbeitsgegenstand. Materialien lassen sich in bestimmter Weise bearbeiten, d.h. verändern oder sondieren.

Maschinenkategorie: Eine Materialklasse definiert ausschließlich Operationen zur Veränderung und Sondierung des Zustands von Objekten der Klasse; Darstellungen des Materials und interaktive Handhabung werden in der Klasse nicht realisiert.

Die fachlichen Umgangsformen werden technisch durch sondierende Funktionen und verändernde Prozeduren realisiert. Die Beschreibung eines Materials ist vorrangig konzeptionell. Die so fachlich motivierten Umgangsformen sind unabhängig von einer Darstellung auf dem Bildschirm oder von der Repräsentation in einer Datenbank. Aus diesem Grund besitzen Materialien keine Operationen, um z.B. auf dem Bildschirm angezeigt zu werden.

Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus einer Materialklassenhierarchie, die in einem von uns betreuten Projekt im Bankenkontext (vgl. Bäumeier u.a. 1995) erstellt wurde. Materialklassen wie Modellrechenblatt, Vollmacht oder Antragsformular bilden die Blätter dieser Begriffshierarchie. Sie sind fachlich die Gegenstände, die in verschiedenen Kontexten (s.u.) wiederverwendet werden können.

Das Beispiel der Materialklassen in Abbildung 2 soll auch zeigen, daß keine direkte Übertragung von Begriffen des Anwendungsbereiches in Materialklassen vorgenommen wird. Vielmehr begleiten Abstraktions- und Begriffsbildungsprozesse den Übergang vom fachlichen Modell zum technischen Entwurf. So ist z.B. die Begriffsbildung für die Materialklasse Papier außerhalb des Projektkontextes diskussionswürdig. Im konkreten Kontext wird damit jedoch eine spezifische Bedeutung verbunden. Die Bedeutung der Materialklasse Papier besteht darin, daß Texte auf einem Papier verwaltet werden können.

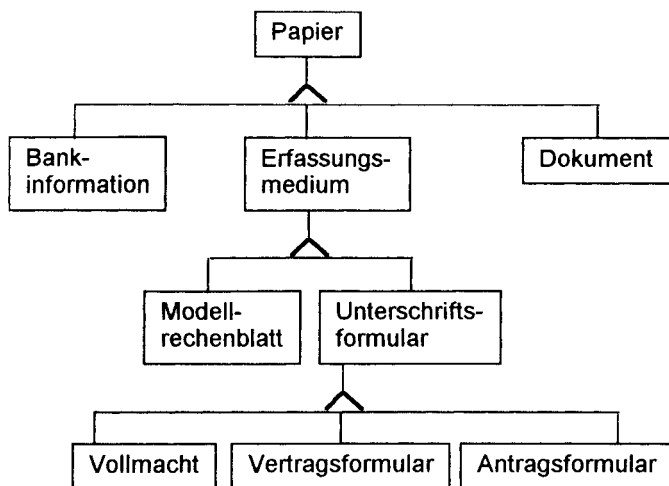


Abb. 2: Materialklassenhierarchie

Hier wird die Eigenschaft der Entwurfsmetapher Material deutlich, sowohl eine anwendungsfachliche als auch eine softwaretechnische Interpretation zu haben: Zunächst werden die relevanten Gegenstände und Begriffe modelliert, um sie dann nach den Qualitätskriterien der Maschinenkategorie technisch zu modellieren.

Durch diese Art der Modellierung wird die „semantische Lücke“ zwischen fachlichen und softwaretechnischen Modellen so klein wie möglich gehalten, um Veränderungen im Anwendungsbereich mit minimalem Aufwand im technischen System nachvollziehen zu können. Umgekehrt sollen technisch bedingte Änderungen fachlich zuzuordnen sein. Das Beispiel zeigt auch, wie beim Entwurf von Materialklassen fachliche Begriffshierarchien technisch mit Einfachvererbung modelliert werden.

Im Sinne der Definition des Materialbegriffs werden die Operationen einer Materialklasse immer mit Hilfe interaktiver Werkzeuge ausgelöst. Materialklassen führen niemals eigenständige Ein- und Ausgabe durch und sind damit unabhängig von der konkreten Systemplattform. Materialien werden weitgehend unabhängig davon entworfen, mit welchen Werkzeugen sie bearbeitet werden.

4.2 Die Entwurfsmetapher Werkzeug

Werkzeuge als die Arbeitsmittel einer Anwendung sind dadurch charakterisiert, daß sie sich zur Bearbeitung von Materialien eignen. Sie organisieren dabei unsere Arbeit mit den Materialien und vergegenständlichen Erfahrungen und Traditionen (vgl. Budde, Züllighoven 1990). Sie sind die objektivierten flexiblen Muster, die wir in unseren Handlungen verwenden (vgl. Volpert 1994).

Wir verwenden den Begriff *Werkzeug* fachlich deswegen wie folgt:

Umgangskategorie: Ein Werkzeug ist ein Arbeitsmittel, mit dem in einer bestimmten Arbeitssituation ein Arbeitsgegenstand, das Material, bearbeitet wird. Ein Werkzeug verändert ein Material oder sondiert seinen Zustand. Mit einem Werkzeug wird sowohl eine fachliche Funktionalität („es ist zu etwas gut“) als auch eine bestimmte Art der Handhabung („es muß richtig gehandhabt werden“) verbunden.

Maschinenkategorie: Ein Werkzeug besteht aus einer Funktions- und einer Interaktionskomponente. Die Funktionskomponente implementiert technisch die fachliche Funktionalität, während die Interaktionskomponente technisch die Handhabung des Werkzeugs realisiert.

Was Werkzeug und was Material ist, wird erst in einer Arbeitssituation erkannt, dort allerdings eindeutig. Es kann aber durchaus sein, daß ein Gegenstand in einer Situation als Werkzeug gebraucht wird („wir schreiben mit dem Bleistift“) und in einer anderen zum Material wird („wir spitzen den Bleistift an“). Ein Werkzeug kann zudem für mehrere Materialien geeignet sein, und ein Material kann von verschiedenen Werkzeugen bearbeitet werden. Dieses Verständnis zeigt noch einmal, wie eng die Entwurfsmetaphern Werkzeug und Material mit dem Anwendungskontext verbunden sind.

Bei der Modellierung von Werkzeugen einer Büroanwendung stellen wir rasch fest, daß hier eine (mimetische) „einfache“ Übertragung der konventionellen Arbeitsmittel in eine Softwareumgebung wenig Sinn macht. Viele Arbeitsmittel im Bürobereich sind so universell wie ein Bleistift, der uns fast alle Formen der Textbearbeitung und der Grafik ermöglicht, oder sie sind wie ein Fotokopierer, auf den ersten Blick eher durch eine Operation als durch eigene Werkzeuge zu übertragen.

Damit können Werkzeuge besonders in Büroumgebungen nicht als Nachbildung von vorhandenen Arbeitsmitteln entworfen werden. Im Zentrum des Interesses steht vielmehr, welche fachlich motivierten Handlungen mit einem Werkzeug unterstützt werden sollen. Auf diese Weise kommen wir von den allgemeinen Formen der Textverarbeitung in einer Büroanwendung zu Formular- oder Grafikeditoren und von einem Fotokopierer zu einem Werkzeug Formularkopierer, das in sinnvoller Weise Inhalte von den Feldern eines Formulars auf ein ähnliches übertragen kann. Diese Herangehensweise abstrahiert zunächst von der Darstellung der Funktionalität an der Oberfläche eines Werkzeugs.

Werkzeuge unterstützen also ausgewählte Handlungen in wiederkehrenden Arbeitszusammenhängen. Mit Werkzeugen können wir Materialien nicht nur bearbeiten, sie zeigen uns Materialien auch geeignet an. Die Präsentation von Materialien ist nach ihrer fachlichen Funktionalität eine wesentliche Aufgabe von Werkzeugen. Ein Softwarewerkzeug bietet seine Funktionalität als einen Satz von Kommandos an.

Was charakterisiert ein Werkzeug noch?

- Werkzeugfunktionalität ist reaktiv, d.h., jede Operation des Werkzeugs wird durch eine Handlung des Benutzers ausgelöst. Ein Werkzeug reagiert also mit einer seiner möglichen Aktivitäten auf eine Anforderung von außen.
- Die Auswahl der einzelnen Werkzeugkommandos durch den Benutzer ist wahlfrei, d.h. nicht in einem bestimmten Ablauf festgelegt. Innerhalb dieser Wahlfreiheit können aber bestimmte Sequenzen möglich und andere ausgeschlossen sein.

In diesem Sinne sind die von uns entworfenen Werkzeuge nie „selbst“ aktiv, sondern immer reaktiv, was insbesondere heißt, daß keine verborgenen Aktionen auf dem vom Werkzeug bearbeiteten Material durchgeführt werden. Diese Eigenschaft ist direkt abgeleitet aus dem Werkzeugbegriff Volperts, der darüber hinaus feststellt:

„Werkzeuge [...] veranlassen also das Individuum, einen bestimmten Handlungsablauf zu vollziehen. Was diesen Vollzug allerdings betrifft, so sind sie auf das Individuum angewiesen: Handlungsforderungen bedürfen stets des handelnden Subjekts, das sie annimmt“ (Volpert 1994, S. 55).

Abbildung 3 zeigt das Werkzeug „Auflister“ (vgl. z.B. Kilberth u.a. 1994), das dazu verwendet wird, das Inhaltsverzeichnis eines Ordners darzustellen. Hier soll dieses Beispiel dazu verwendet werden, um die Diskussion darüber aufzugreifen, welche Funktionalität an einen maschinellen Funktionsträger abgegeben werden kann, ohne dabei die Kontrolle über den Handlungsablauf zu verlieren.



Abb. 2: Das Werkzeug Auflister

Bei den „Einstellungen“ des Werkzeugs ist zu bemerken, daß das Material alphabetisch „aufsteigend“ oder „absteigend“ sortiert werden kann.

Diese Funktionalität durch einzelne Handlungen eines Benutzers selbst ausführen zu lassen, wäre wohl kaum einsichtig vermittelbar. Auf der anderen Seite wird dadurch eine komplexe Operation ausgeführt (dies gilt um so mehr, wenn noch ein „Gruppierkriterium“ oder ein „Sortierkriterium“ angegeben wird), die sich auch in benennbaren einzelnen Handlungsschritten durchführen läßt.

4.3 Die Entwurfsmetapher Automat

Wir haben bisher die Metaphern Werkzeug und Material in das Leitbild vom qualifizierten Arbeitsplatz eingeordnet. Diesen haben wir bewußt in Gegensatz zu einer Automatensicht bei der Softwareentwicklung gestellt. Allerdings wurde im letzten Abschnitt bei der Diskussion des Auflisterbeispiels deutlich, daß bestimmte Handlungsschritte, wie das Sortieren von Formularen, im Anwendungssystem sinnvoll auf die Maschine zu übertragen sind. Diese implementierten „Automatismen“ sind bisher als Teil der Funktionalität eines Werkzeugs wieder in das situierte Handeln (Unterstützungssicht) integriert.

Aus den Erfahrungen in Anwendungsprojekten hat sich gezeigt, daß ein anwendungsfachlich vertretbarer Anteil des Arbeitshandeln automatisiert, d.h. auf Softwaresysteme in der Form von Automaten übertragen werden kann. Im Rahmen des Leitbilds für qualifizierte menschliche Tätigkeiten kann dies aber nur bedeuten, daß Automaten selbst als Arbeitsmittel und damit als Gegenstand für das situierte Arbeitshandeln verfügbar gemacht werden sollen.

Der Ansatz zur Integration des Automatenbegriffs in den Kontext des Leitbilds liegt beim Begriff Routine. Unter *Routine* verstehen wir eine wiederkehrende Handlungsfolge mit bekanntem Ergebnis. Ist diese Routine formalisierbar und damit als Software implementierbar, ist eine Voraussetzung für die Übertragung auf einen Automaten gegeben.

Umgangskategorie: Ein *Automat* ist die Vergegenständlichung einer aus Benutzungssicht lästigen formalisierbaren Routine, die über längere Zeiträume hinweg ohne äußere menschliche Eingriffe ablaufen kann. Der Automat wird vom Anwender gestartet und kontrolliert. Das vorab festgelegte Ergebnis oder der Effekt des Automaten lassen sich wieder in die situierte Handlung einbetten.

Maschinenkategorie: Ein Automat realisiert eine formalisierte Routine, die weitgehend ohne Kontextinformationen oder interaktive Steuerung auskommt. Einmal eingestellt, läuft der Automat ab und produziert vorab festgelegte Resultate, soweit er nicht unterbrochen wird. Dabei arbeitet der Automat wie ein Werkzeug auf einer definierten Schnittstelle von Materialklassen.

Offensichtlich werden die für den Anwender relevanten Anteile bei der Erledigung von Aufgaben durch Werkzeuge realisiert. Wenn gelernte und eingeübte Handlungsfolgen den Charakter von lästiger Routine bekommen, kann der formalisierte Anteil der Handlungen an einen Automaten übertragen werden. In der Praxis zeigt sich durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Automaten auch die Koexistenz der hier kontrastierten Automatisierungs- und Unterstützungssicht.

Aus der bisherigen Praxis lassen sich folgende Verwendungen von Automaten erkennen:

- Automaten implementieren eine als lästig erkannte routinisierte Handlungsfolge des Anwendungsbereichs, die damit nicht mehr vom Benutzer ausgeführt werden muß. Als Beispiel kann im Bankenbereich die regelmäßige Überprüfung der Gültigkeit von zeitlich befristeten Risikoerklärungen im Wertpapiergeschäft genannt werden.
- Automaten übernehmen häufig die Aufgaben von traditionellen Unterprogrammen aus der Batchverarbeitung. Sie implementieren einen fachlichen Algorithmus. Ein Beispiel wäre ein Dauerauftrags-Ausführungsautomat, der die termingerechte Ausführung von Daueraufträgen durchführt.
- Schließlich finden sich Automaten an den Schnittstellen zwischen einem objektorientierten Anwendungssystem und seiner konventionellen Umgebung, etwa um den Zugriff auf eine relationale Datenbank oder eine Großrechnerverbindung zu kapseln und damit einen vollständig vom Anwender zu verbergenden Automatismus zu realisieren.

Mit dieser Skizze einer anwendungsorientierten Modellierungstechnik mit objektorientierten Werkzeugen, Materialien und Automaten haben wir die Produktseite der Anwendungsentwicklung beschrieben. Kom-

plementär zu den Produkten eines objektorientierten Entwurfs muß die Vorgehensweise in objektorientierten Projekten betrachtet werden.

5. Eine evolutionäre Vorgehensweise

Wir haben bereits in der Einleitung darauf hingewiesen, daß Softwareentwicklung als Lern- und Kommunikationsprozeß zu verstehen ist. Damit kommt innerhalb unseres Ansatzes der Vorgehensweise eine besondere Bedeutung zu. Floyd weist darauf hin, daß das Produkt und der Prozeß zwei Dimensionen bei der Anwendungsentwicklung sind, die sich wechselseitig bedingen (vgl. Floyd 1987). Kernpunkt unseres Ansatzes ist, daß die unterschiedlichen Sprachwelten von Benutzern und Entwicklern zu einer gemeinsamen Projektsprache entwickelt werden.

Grundlegend muß das sich entwickelnde Verständnis einer Anwendungssituation vergegenständlicht werden. Hier zeigt sich ein Dilemma zwischen der Maschinensicht und der Umgangssicht. Wir sind uns im klaren, daß in den meisten Softwareprojekten nur die Umgangssicht in Beschreibungen für alle Beteiligten verständlich gemacht werden kann. Prinzipiell gilt aber:

- Alle Entwicklungsdokumente orientieren sich an der Fachsprache der Anwendung. Sie werden im Projekt kontinuierlich unter Beteiligung aller relevanten Gruppen weiterentwickelt. So können die Lernprozesse im Projekt an Dokumenten als Arbeitsgegenstände stattfinden.
- Autor-Kritiker-Zyklen über alle Entwicklungsdokumente erlauben, den Projektfortschritt ständig zu bewerten und damit zu kontrollieren. Dies bedeutet, daß ein Dokument nicht von seinen Autoren, sondern immer von anderen, jeweils kompetenten Personen oder Gruppen bewertet wird.

Das Dilemma in der Darstellung der Maschinensicht und der Umgangssicht wird durch unterschiedliche Dokumenttypen gelöst. Im folgenden beschreiben wir die Dokumenttypen, die vorrangig an der Umgangssicht orientiert sind. Eine ausführlichere Darstellung findet sich in Kilberth u.a. 1994. Die Brücke zwischen diesen anwendungsfachlich orientierten

Dokumenttypen und den softwaretechnischen Dokumenten wird durch Prototypen geschlagen. Sie „verkörpern“ beide Sichten und machen sie auch für alle Beteiligten in Grenzen erfahrbar.

5.1 Interviews und Szenarios

Als Einstieg für die Entwickler in die Projektarbeit werden qualitative Interviews (vgl. Lamnek 1989) von den Entwicklern „vor Ort“ mit den Anwendern geführt. Dabei geht es nicht um eine „Faktensammlung“, sondern um den angestrebten Kommunikations- und Lernprozeß. Die Entwickler sollen verstehen, wie im Anwendungsbereich gearbeitet und gedacht wird. In Fällen, wo das Anwendungsgebiet sehr komplex und den Entwicklern wenig vertraut ist, hat es sich als nützlich erwiesen, Entwickler durch „Betriebspraktika“ oder anwendungsfachliche Ausbildungslehrgänge auf das Anwendungsgebiet und diese Interviews vorzubereiten. Die Ergebnisse der Interviews werden von den Entwicklern in Szenarios festgehalten.

Das *Szenario* ist der vorrangige Dokumenttyp in der Kommunikation zwischen Entwicklern und Anwendern zu Projektbeginn. Es unterstützt die Analyse eines bestehenden Aufgabenbereichs. Ein Szenario beschreibt als kurzer Prosatext in der Sprache der Anwendung alltägliche Arbeitssituationen.

Szenarios dokumentieren also die verschiedenen Aspekte der Dynamik des Anwendungsbereichs, in denen Menschen mit Arbeitsgegenständen und -mitteln selbstverständlich umgehen. Sie setzen also immer die einzelnen Handlungen zu den dabei verwendeten Gegenständen in Beziehung.

In Szenarios wird die Welt nicht „dogmatisch“ in Werkzeuge und Materialien „zerlegt“, daher sprechen wir dort eher von Arbeitsgegenständen und -mitteln. Denn es soll dabei deutlich werden, welchen Sinn und Zweck Handlungen haben und mit welchen Mitteln sie durchgeführt werden. Die von Entwicklern geschriebenen Szenarios müssen dann mit den späteren Benutzern des Systems ausgewertet werden. Erst dadurch führen die Interviews zu einem bestmöglichen Lernerfolg. Dabei entstehen fruchtbare Diskussionen über die momentane Arbeitssituation, die für Entwickler bereits Aufschlüsse über die zukünftige Gestaltung des

Systems liefern. Der folgende Text ist ein Ausschnitt eines Szenarios aus dem Bankenbereich. Kursive Begriffe werden in einem Glossar näher beschrieben.

Im *Beratungsgespräch* werden zusätzliche Informationen (evtl. auch *Sicherheiten*) vom Kunden erfragt. Außerdem wird der Kunde über generelle Vorgehensweisen und Auswirkungen, die mit Erwerb und *Finanzierung* zusammenhängen, informiert. Eventuell werden hier auch die *Konditionen* besprochen.

Während Szenarios die Dynamik einer Anwendungssituation darstellen, wird in einem *Glossar* der statische Aspekt der Anwendung hervorgehoben. Ein Glossar ist ein Verzeichnis der relevanten Begriffe eines Anwendungsbereichs. Die Begriffe beziehen sich sowohl auf die dort verwendeten Gegenstände als auch auf die damit verbundenen Umgangsformen. Hier werden die in Szenarios verwendeten und die im Projektverlauf neu entstehenden Begriffe erläutert. Dem Glossar kommt damit eine wesentliche Bedeutung bei der Entwicklung einer gemeinsamen Projektsprache zu. Der folgende Auszug aus einem Glossar, das zum Szenario in unserem Beispiel paßt, beschreibt den Begriff *Sicherheit*:

Eine *Sicherheit* wird von der Bank für die Vergabe eines Kredits verlangt. Falls der Kredit nicht zurückgezahlt werden kann, veräußert die Bank die *Sicherheit*, um offene Forderungen abzudecken. Allgemein dienen *Sicherheiten* zur Verminderung des Kreditrisikos.

Ein Glossar ist somit ein Dokument für die Vergegenständlichung der fachlichen und technischen Begriffsbildung. Anhand des Glossars kann ein Projekt feststellen, wie andere Projekte gemeinsam interessierende Begriffe definiert haben und ob diese Begriffe abgestimmt werden müssen.

5.2 Systemvisionen

Eine *Systemvision* beschreibt als kurzer Prosatext in der Sprache der Anwendung Arbeitssituationen, Aufgaben und Handlungsfolgen unter Verwendung von Werkzeugen und Materialien des zu entwickelnden Anwendungssystems. Systemvisionen können als eine Art in die Zukunft projizierte Szenarios betrachtet werden (vgl. Carroll, Rosson 1990), d.h., sie beschreiben eine zukünftige Arbeitssituation, so wie die Entwickler

sie sich vorstellen. Diese Systemvisionen gehen auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen den jeweiligen Prototypen voraus. Der folgende Text zeigt ein Beispiel einer schon sehr genau antizipierten Handhabung des künftigen Systems.

Um eine neue Sicherheit anzulegen, wird im Menü des Werkzeugs „Sicherheiten bearbeiten“ der Menüpunkt „Neue Sicherheit“ ausgewählt. Anschließend ist der entsprechende Sicherheitentyp zu wählen. Das Werkzeug öffnet dann eine unausgefüllte Sicherheit des ausgewählten Typs.

Systemvisionen dienen vor allem innerhalb eines Entwicklerteams dazu, die eigenen Vorstellungen zu vergegenständlichen und damit eine Diskussionsbasis für den weiteren Kommunikationsprozeß zu schaffen. Am Rande sei bemerkt, daß bei den Entwicklern schon eine Vision über das zukünftige System vorhanden sein muß, um eine Systemvision schreiben zu können. Hier deutet sich ein Zusammenhang an, der in einem sequentiellen Phasenmodell nicht berücksichtigt wird: Um ein zukünftiges System zu entwerfen, müssen die gegenwärtigen Aufgaben eines Anwendungsbereichs verstanden werden. Um die Grenzen und Prioritäten bei einer Anwendungsanalyse festzulegen, muß andererseits ein Vorverständnis über eine mögliche Unterstützung durch Anwendungssoftware gegeben sein. Dieser Zusammenhang ist offenbar nur innerhalb einer zyklischen Vorgehensweise herzustellen.

5.3 Prototypen

Wir haben Prototypen als die Brücke zwischen Umgangssicht und Maschinensicht bezeichnet. Ein *Prototyp* ist ein ablauffähiges Modell des zukünftigen Anwendungssystems. Ein Prototyp

- realisiert ausgewählte Aspekte des zukünftigen Systems,
- ist eine Diskussions- und Entscheidungsbasis für Entwickler und Benutzer,
- dient Entwicklern und Benutzern zum Experimentieren und zum Sammeln von Erfahrungen und
- hilft, relevante Spezifikations- oder Entwicklungsprobleme zu klären.

Prototypen sind nicht nur innerhalb einer objektorientierten Vorgehensweise nützlich, da sie für sehr unterschiedliche Fragestellungen konstruiert und ausgewertet werden können (vgl. Kieback u.a. 1992). Prototypen sind in Gebos entlang den von Floyd (1984) und Budde u.a. (1992) klassifizierten Arten entwickelt worden.

Demonstrationsprototypen sind mit zugeschnittenen Entwicklungswerkzeugen erstellte Prototypen, die parallel zu Systemvisionen für die Diskussion zwischen Entwicklern und Benutzern entwickelt werden. Sie sind wie „Handskizzen“ als „Wegwerfprototypen“ gedacht, d.h., der Kode des Prototypen wird nicht weiter entwickelt.

Von zentraler Bedeutung für die schrittweise Gestaltung des zukünftigen Systems sind *funktionale Prototypen*. Beim Bau funktionaler Prototypen werden Oberflächenkomponenten mit den funktionalen, d.h. anwendungsfachlichen Teilen des Systems verbunden. Für die angestrebten Kommunikations- und Lernprozesse zwischen Benutzern und Entwicklern spielen sie deshalb eine besondere Rolle. Die Übereinstimmung des fachlichen Modells mit den Strukturen der Softwarearchitektur bei Pilotsystemen ermöglicht es, Bewertungen und Anforderungen der Experten aus dem Anwendungsbereich unmittelbar auf Systemkomponenten zu beziehen. Wenn ein Kundenberater also von der Gestaltung eines Beratungsordners spricht, weiß ein Entwickler gleich, welche Entwurfskomponenten gemeint sind. Im weiteren werden dann sowohl die funktionalen als auch die Oberflächenkomponenten weiterentwickelt.

Daneben werden *Labormuster* erstellt, d.h. Prototypen, die innerhalb des Entwicklerteams zur Bewertung von Designalternativen dienen. Sie sind nicht nur nützlich, weil sie den Entwicklern bei der Klärung eines Konstruktionsproblems helfen, sie sind oft auch Katalysatoren für neue und weitreichende Ideen für die Systemgestaltung.

Pilotsysteme sind die Art von Prototypen, die unter weitgehend realistischen Bedingungen vor Ort erprobt werden. Hier ist es für eine methodisch klare Vorgehensweise wichtig, daß Pilotsysteme technisch und fachlich viel höheren Anforderungen genügen müssen als die anderen Prototypen. Ihr Einsatz an zunächst ausgewählten Arbeitsplätzen deckt erfahrungsgemäß sowohl anwendungsfachliche als auch softwaretechnische Probleme auf, die unter Laborbedingungen nicht erkennbar sind.

Der Einsatz der verschiedenen Prototyparten verdeutlicht nochmals die Abkehr von einem Phasenmodell der Softwareentwicklung zugunsten eines zyklischen Modells:

- (1) Die Entwicklung einzelner Dokumente kann niemals als abgeschlossen betrachtet werden. So werden z.B. Erkenntnisse aus der Diskussion über Demonstrationsprototypen in Systemvisionen eingehen, oder das fachliche Verständnis einer Anwendungssituation (beschrieben in einem Szenario) wird sich dadurch vertiefen.
- (2) Bei einer zyklischen Vorgehensweise sind im Prinzip zu jedem Zeitpunkt alle Dokumente zur Bearbeitung verfügbar. Welche Dokumente wann mit welchem Aufwand bearbeitet werden, entscheidet sich anhand der jeweilig aktuellen Fragestellung.
- (3) Prinzipiell helfen die einzelnen Dokumententypen, eine Fragestellung unter den verschiedenen relevanten Gesichtspunkten zu betrachten. Erst durch die Einbeziehung anwendungsfachlicher Dokumente wird aber der Kontext technischer Entwurfsentscheidungen, etwa die Hierarchisierung bei Materialklassen, nachvollziehbar. In diesem Sinne vergegenständlichen die hier betrachteten Dokumente das „design as a web of design decisions“ (Floyd 1992, S. 96).

Prototypen bilden in Zusammenhang mit den anderen hier genannten Dokumenten das griffigste Mittel, um in einem Projekt den tatsächlichen Fortschritt der Projektarbeit beurteilen zu können.

Dokumente und Prototypen vergegenständlichen in einer evolutionären Vorgehensweise den stattfindenden Diskussions- und Lernprozeß, ohne daß dadurch Vorgaben für das Vorgehen im Sinne einer Methode gemacht werden:

„[...] they provide means to utilize the external memory to the extent required by the actual needs of the people involved without prescribing the form or structure that should be achieved“ (Keil-Slawik 1992, S. 186).

Für eine unterstützende Sichtweise ist damit auch das Vorgehen in Softwareentwicklungsprojekten entlang der Grundmerkmale menschlichen Handelns möglich. Besonders hervorzuheben ist, daß die soziale Eingebundenheit - durch die Betonung der Lern- und Kommunikationsprozesse zwischen Benutzern und Entwicklern - und die Gegenständlichkeit - durch die Bereitstellung geeigneter Dokumente - zentrale Elemente der Vorgehensweise bilden.

Dadurch, daß das hier vorgestellte Repertoire von Dokumenten nicht um zeitlich sequentielle Vorgaben eingeschränkt ist, wird situiertes Handeln im Entwicklungsprozeß gefördert.

6. Zusammenfassung

Objektorientierte Anwendungsentwicklung wird zunehmend in einheitliche objektorientierte Konzepte für alle Aktivitäten bei der Softwareentwicklung eingebettet werden. Nach unserer Einschätzung ist für den langfristigen Erfolg dabei entscheidend, daß objektorientierte Konzepte auf der Basis anwendungsfachlicher Bedürfnisse eingesetzt werden. Erst durch die Verbindung einer anwendungsfachlichen „Denke“ mit einem tragfähigen Leitbild und dazu passenden Entwurfsmetaphern sowie einer evolutionären Vorgehensweise läßt sich das Potential objektorientierter Programmiertechniken ausschöpfen.

Objektorientierung kann dann wirklich das Leitthema für die Zusammenführung bewährter Konzepte und Techniken und neuer Entwicklungen werden.

Literatur

- Bäumer, D.; Gryczan, G.; Züllighoven, H.: Objektorientierte Software-Entwicklung für Banken - Methodik und Erfahrungen aus einer mehrjährigen Projektpraxis. In: OBJEKTSpektrum, Heft 3, 1995, S. 45-53.
- Brödner, P.; Perkuhl, U.: Rückkehr der Arbeit in die Fabrik - Wettbewerbsfähigkeit durch menschenzentrierte Erneuerung kunden-orientierter Produktion, Institut Arbeit und Technik, Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen, Gelsenkirchen 1991.
- Budde, R.; Kautz, K.; Kuhlkamp, K.; Züllighoven, H.: Prototyping, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1992.
- Budde, R.; Züllighoven, H.: Software-Werkzeuge in einer Programmierwerkstatt, Berichte der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung Nr. 182, München 1990.
- Bürkle, U.; Gryczan, G.; Züllighoven, H.: Object-oriented System Development in a Banking Project - Methodology, Experience, and Conclusions. In: Human-Computer-Interaction, no. 2, no. 3, vol. 10, 1995, pp. 293-336.

- Carroll, J.M.; Rosson, M.B.: Human Computer Interaction Scenarios as Design Representation. Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, Los Alamitos, California 1990, pp. 555-561.
- Dunckel, H.; Volpert, W.; Zölch, M.; Kreutner, U.; Pleiss, C.; Hennes, K.: Kontrastive Aufgabenanalyse im Büro: Der KABA-Leitfaden - Grundlagen und Manual, Stuttgart 1993.
- Floyd, C.: A Systematic Look at Prototyping. In: R. Budde et al. (eds.): Approaches to Prototyping. Proceedings of the Working Conference on Prototyping, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1984, pp. 1-18.
- Floyd, C.: Outline of a Paradigm Change in Software Engineering. In: G. Bjørknes et al. (eds.): Computers and Democracy - A Scandinavian Challenge, Aldershot/Hampshire 1987, pp. 191-210.
- Floyd, C.: Software Development as Reality Construction. In: C. Floyd et al. (eds.): Software Development and Reality Construction, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1992, pp. 86-100.
- Floyd, C.; Budde, R.; Keil-Slawik, R.; Züllighoven, H. (eds.): Software Development and Reality Construction, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1992.
- Gamma, E.; Helm, R.; Johnson, R.; Vlissides, J.: Design Patterns - Elements of Reusable Object-Oriented Software, Reading, Mass. 1994.
- Gryczan, G., Züllighoven, H.: Objektorientierte Systementwicklung - Leitbild und Entwicklungsdokumente. In: Informatik-Spektrum, Heft 5, 15. Jg., 1992, S. 264-272.
- Keil-Slawik, R.: Artifacts in Software Design. In: C. Floyd et al. (eds.): Software Development and Reality Construction, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1992, pp. 168-188.
- Kieback, A.; Lichter, H.; Schneider-Hufschmidt, M.; Züllighoven, H.: Prototyping in industriellen Software-Projekten - Erfahrungen und Analysen. In: Informatik-Spektrum, Heft 15, 1992, S. 65-77.
- Kilberth, K.; Gryczan, G.; Züllighoven, H.; Bäumer, D.; Budde, R.; Hasbron-Blume, K.; Sylla, K.-H.; Weimer, V.: Objektorientierte Anwendungsentwicklung, 2. Aufl., Wiesbaden 1994.
- Lamnek, S.: Qualitative Sozialforschung, Band 2: Methoden und Techniken, Weinheim 1989.
- Maaß, S.: Maschine, Partner, Medium, Welt ... Eine Leitbildgeschichte der Software-Ergonomie. In: H.D. Hellige (Hrsg.): Leitbilder der Informatik- und Computer-Entwicklung, artec paper 33 (= Tagung der GI-Fachgruppe „Historische Aspekte von Informatik und Gesellschaft“ und des Deutschen Museums, München, Preprint des Tagungsbandes), Bremen 1994, S. 329-342.
- Maaß, S.; Oberquelle, H.: Perspectives and Metaphors for Human-Computer-Interaction. In: C. Floyd et al. (eds.): Software Development and Reality Construction, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1992, pp. 233-251.
- Meyer, B.: Object-Oriented Software Construction, New York 1988.
- Naur, P.; Randell, B. (eds.): Software Engineering - Scientific Affairs Division, Brüssel 1969.

- Neumann, P.G.: Risks to the Public in Computer Systems. In: Software Engineering Notes, no. 5, vol. 10, 1985, pp. 4-14.
- Parnas, D.L.: On the Criteria to be Used in Decomposing Systems into Modules. In: Communications of the ACM, no. 12, vol. 15, 1972, pp. 1053-1058.
- Rolf, A.: Sichtwechsel - Informatik als (gezähmte) Gestaltungswissenschaft. In: W. Coy u.a. (Hrsg.): Sichtweisen der Informatik, Wiesbaden 1992, S. 33-48.
- Volpert, W.: Wider die Maschinenmodelle des Handelns - Aufsätze zur Handlungsregulationstheorie, Lengerich 1994.
- Wegner, P.: Concepts and Paradigms of Object-Oriented Programming. In: OOPS Messenger, no. 1, vol. 1, 1990, pp. 8-87.
- Wirfs-Brock, R.J.; Wilkerson, B.; Wiener, L.: Designing Object-Oriented Software, Englewood Cliffs 1990.
- Wygotski, L.S.: Denken und Sprechen, Berlin 1969.

Offene Systemarchitekturen als Perspektive für Werkzeugmaschinensteuerungen

1. Der Weg zur Offenheit
2. Weiterführende Aktivitäten

Werkzeugmaschinen stellen heute eine Symbiose aus Elektronik, Elektromechanik und Mechanik dar. Offerierte der Maschinenhersteller bis in die 60er Jahre Komplettlösungen aus einer Hand, so entwickelte sich mit Einsatz der NC-Technologie zunächst eine Arbeitsteilung zwischen Maschinen- und Steuerungshersteller. Anfänglich beschränkte sich der Einsatz der Steuerungstechnik auf die Bewegungskoordination und die Ablaufsteuerung. Mit steigender Leistungsfähigkeit von Hard- und Software wurden jedoch zunehmend mechanische Funktionen durch steuerungstechnische Lösungen ersetzt und neue Funktionalitäten durch diese Potentiale der Steuerungen möglich. Diese Entwicklung hat dazu geführt, daß die Maschinensteuerung heute zu einer Schlüsselkomponente der Maschine geworden ist (Abb. 1).

Mit zunehmender Leistungsfähigkeit und Komplexität der Maschinen und Systeme sowie der Komponenten (Antriebe, Sensorik) steigt der Umfang dieser Funktionalitäten, die meistens in Softwaremodulen abgebildet werden, kontinuierlich. Eine Vielzahl dieser Softwarebausteine ist technologiespezifisch oder stellt die Umsetzung eigenen Know-hows durch den Maschinenhersteller dar. Damit verschiebt sich die anfängliche Aufgabenteilung. Der Maschinenhersteller wird zunehmend Applikationsentwickler und in einigen Fällen auch Systementwickler.

Das zentrale Problem für den Maschinenhersteller besteht nun in der heterogenen Marktsituation für diese Schlüsselkomponente „Steuerung“. Mit wachsender Bedeutung der Steuerungstechnik hat sich in Europa, im Gegensatz zu anderen Regionen, mit über 30 Steuerungsherstellern eine

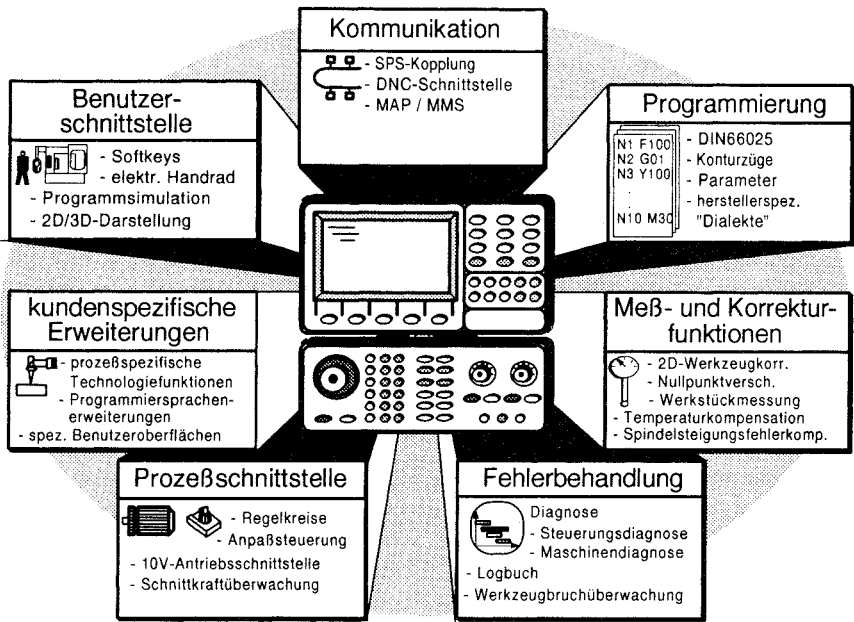


Abb. 1: Funktionen numerischer Steuerungen

sehr breite Anbieterlandschaft entwickelt. Die Mehrzahl dieser Anbieter ist auf den europäischen Markt fokussiert und somit hinsichtlich Akzeptanz und Serviceangebot in anderen Märkten nur bedingt einsetzbar. Wie die Entwicklung des Auftragseinganges zwischen 1990 und 1994 verdeutlicht, hat sich der Exportanteil um 10 % auf derzeit 55 % vergrößert. Somit sind insbesondere für Exportmärkte in Asien und Amerika, aber auch für Europa die wichtigsten japanischen und US-amerikanischen Anbieter von Steuerungstechnik in die Betrachtung einzubeziehen.

Eine Festlegung auf einen Zulieferer ist in der Regel nicht möglich, da sowohl kunden- als auch marktspezifische Lösungen realisiert werden müssen. Die angebotenen Steuerungsprodukte unterscheiden sich jedoch in Hardware, Betriebssystem und strukturellem Aufbau, so daß Software nicht kompatibel ist.

Diese Gesamtsituation führt daher zu einer Aufwandserhöhung für Softwareentwicklung oder -anpassung (kundenspezifische Lösungen) auf seiten des Maschinenherstellers. Hierbei sind nicht nur die Kosten, son-

dern auch der Zeitaufwand und damit die Reaktionsgeschwindigkeit auf Marktanforderungen zu berücksichtigen.

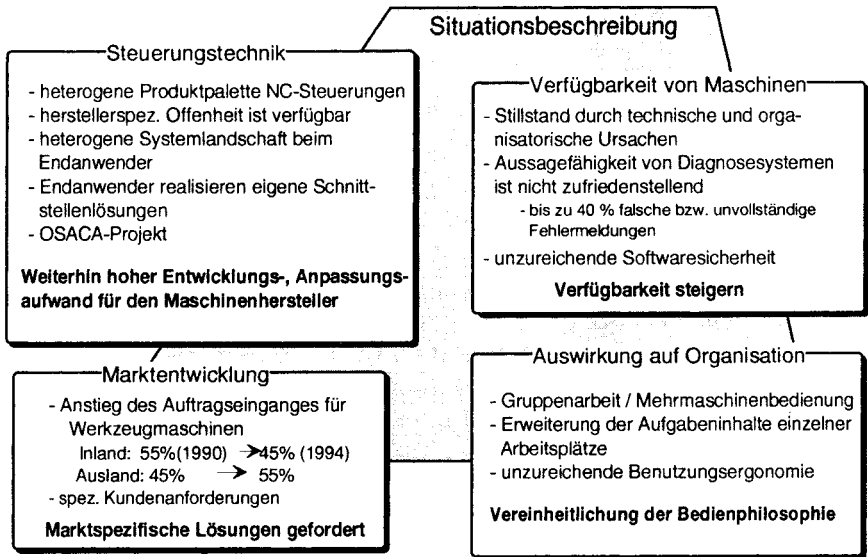


Abb. 2: Charakterisierung der Ausgangssituation

Aber nicht nur dem Maschinenhersteller erwachsen hohe Aufwände ohne Wertschöpfungspotential. Insbesondere bei großen Maschinenanwendern ist festzustellen, daß eine extrem heterogene Systemlandschaft im Verlauf der letzten 15 Jahre gewachsen ist. Eine Variantenzahl von mehr als 40 unterschiedlichen Steuerungsprodukten bei einem Automobilhersteller ist als Beispiel anzuführen. Dies bedingt einen hohen Schulungsaufwand für das Personal, einen erhöhten Wartungsaufwand und höheren Planungsaufwand für neue Anlagenteile. In Einzelfällen wurden bereits spezifische Vereinheitlichungen (Bedienfelder, Diagnoseschnittstelle etc.) von Großanwendern durchgesetzt, um diese Variantenvielfalt zu beherrschen.

Die heterogene Landschaft der Steuerungsprodukte spiegelt sich auch in der Gestaltung der Benutzeroberflächen wider. Zunächst wurden diese durch den Steuerungshersteller vorgegeben. Der Einsatz von PCs als Bedienrechner hat dem Maschinenhersteller die Möglichkeit eröffnet, eige-

ne Vorstellungen umzusetzen. Aber auch die hier entstandenen Lösungen sind firmenspezifisch, so daß dem Werker als Nutzer der Wechsel von einer Maschine zur anderen bei unterschiedlichen Fabrikaten erschwert wird. In der Regel ist eine neue Einweisung erforderlich. Veränderungen in der Fertigungsorganisation (Gruppenarbeit) und die bereits umgesetzten Konzepte in der Bürokommunikation verstärken die Forderung nach einer Vereinheitlichung der Benutzeroberflächen von Maschinensteuerungen (Abb. 2).

Neben Leistung und Genauigkeit ist die Maschinenverfügbarkeit als ein wichtiges Qualitätskriterium anzuführen. Ausgehend von einer optimierten konstruktiven Ausführung der Maschine kann die Verfügbarkeit durch eine geeignete Unterstützung des Personals zur Minimierung von Stillstandszeiten im Fehlerfall (Diagnosemodule) und zur Unterstützung bei Wartungsmaßnahmen gesteigert werden. Untersuchungen bei Endanwendern haben gezeigt, daß die derzeit eingesetzten Diagnosesysteme nicht den Anforderungen gerecht werden. Es wurde beispielsweise festgestellt, daß bis zu 42 % der Fehlermeldungen fehlerhaft oder unzureichend sind und der Werker nur in 17 % der Fälle seine Erfahrungen bez. neuer Fehlerzusammenhänge in das System einbringen konnte.

1. Der Weg zur Offenheit

Diese Situationsanalyse reflektiert in komprimierter Weise den aktuellen Stand. Gleiches war bereits vor 20 Jahren, aktuell, und es wurde erstmalig versucht, eine standardisierte offene Steuerung zu entwickeln, um Softwarekompatibilität zu ermöglichen. Unter Beteiligung von Industrie und Hochschulen wurde das MPST-Projekt „Mehrprozessorsteuerung“ initiiert. Rückblickend muß jedoch festgestellt werden, daß aufgrund fehlender Standards und einer Dominanz der Hardwareseite, die einem schnellen Wandel unterlag, die Randbedingungen für diese Bemühungen ungünstig waren.

Aufgrund der Kurzlebigkeit der Hardware und der zu diesem Zeitpunkt vornehmlich prozessorgebundenen Software (Assembler) lagen die einzigen Standardisierungsmöglichkeiten im Bereich des Bussystems. Hier setzte der Markt jedoch in Gestalt der großen Prozessorhersteller im Projektverlauf eigene Standards, so daß die Ergebnisse aus dem MPST-Projekt keine breitenwirksame Umsetzung erfuhren.

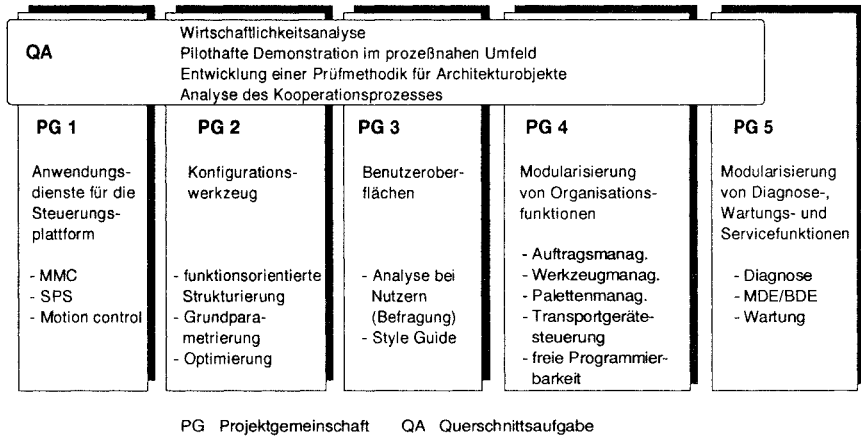
Seit Ende der 80er Jahre stellt sich die technische Situation jedoch grundlegend anders dar. Bei weiterhin kontinuierlicher Fortentwicklung der Hardware hat die Software im System Rechner bzw. Steuerung überproportional an Bedeutung gewonnen. Grund hierfür ist die Hardwareunabhängigkeit der Softwaretechnologie durch die Verwendung von Hochsprachen und die objektorientierte Konzeption von Software. Durch eine geeignete Schnittstellendefinition wird nun eine nachrichtenorientierte Kommunikation zwischen den Objekten möglich. Die Hardware stellt somit nur noch die Plattform mit Kommunikationsdiensten, Prozessorleistung und, bezogen auf Steuerungen, Modulen für Meß-, Regelungs- und Antriebstechnik dar.

Dies inspirierte zu einem erneuten Versuch, der unverändert aktuellen Problemlage durch einen neuen Ansatz zu begegnen. Im Rahmen des Esprit-Projektes OSACA wird das Ziel verfolgt, die Architektur einer offenen herstellerübergreifenden Steuerungsplattform zu spezifizieren. Diese Spezifikation fokussiert ausschließlich auf die Steuerungssoftware oberhalb des Betriebssystems und bleibt somit von Hardwareentwicklungen unabhängig. Die in diesem Projekt verfolgte Zielsetzung entspricht den Vorstellungen der Maschinenhersteller und auch der Endanwender, wie in einer Reihe von Informationsveranstaltungen zu OSACA in mehrerer EU-Ländern deutlich wurde.

2. Weiterführende Aktivitäten

Mit einer stärkeren Fokussierung auf die Belange der Maschinenhersteller und Endanwender wurde der in OSACA begonnene Innovationsprozeß in dem Verbund HÜMNOS „Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz der offenen Steuerungsarchitektur“ aufgegriffen. Das Projekt wird im Rahmen von „Produktion 2000“ durch das BMBF gefördert. Es sind 26 Partner, 18 Industrieunternehmen, sieben Institute sowie der VDW beteiligt.

Im Vordergrund steht die Entwicklung von Anwendungsmodulen, die Abstimmung von Gestaltungsregeln für Benutzeroberflächen und die Entwicklung eines Konfigurierungswerkzeuges. Mit Entwicklung der Anwendungssoftware wird zudem die Systemplattform parallel und in Abstimmung mit OSACA weiterentwickelt (Abb. 3).



© VDW 1995

Abb. 3: Inhalte des Verbundprojektes HÜMNOS

In konsequenter Fortsetzung dieser Steuerungsphilosophie ist es ein zentrales Ziel von HÜMNOS, auch auf seiten der Maschinenhersteller Ressourcen zu bündeln und wichtige Anwendungsmodule herstellerübergreifend abzustimmen und zu spezifizieren.

Der Aufgabenschwerpunkt der Projektgemeinschaft 1 (PG 1) ist die Bereitstellung einer herstellerübergreifenden Applikationsschnittstelle zu den unterschiedlichen Plattformen der Steuerungshersteller. Ausgehend von dem Entwicklungsstand des OSACA II-Projektes werden die notwendigen Anwendungsdienste für eine Basissteuerung in Syntax und Semantik spezifiziert. Dies beschränkt sich nicht auf den zeitunkritischen MMC-Bereich (Mensch-Maschine-Kommunikation), sondern umfaßt ebenfalls den Echtzeitbereich. Die Spezifikationen werden auch für die Strukturobjekte LC (Logic Control) und MC (Motion Control) vorgenommen (Abb. 4). Ergänzt werden diese Spezifikationen um zusätzliche Anwendungsdienste, die aus den Anforderungen der zu entwickelnden Applikationen in PG 4 und PG 5 resultieren. Darüber hinaus werden die Anwendungsdienste und die Systemarchitektur im Hinblick auf handlungsorientierte Anwendungen analysiert. Hierdurch soll sichergestellt werden, daß Entwicklungen aus laufenden AuT-Projekten im Prinzip auf diesen Plattformen aufsetzen können.

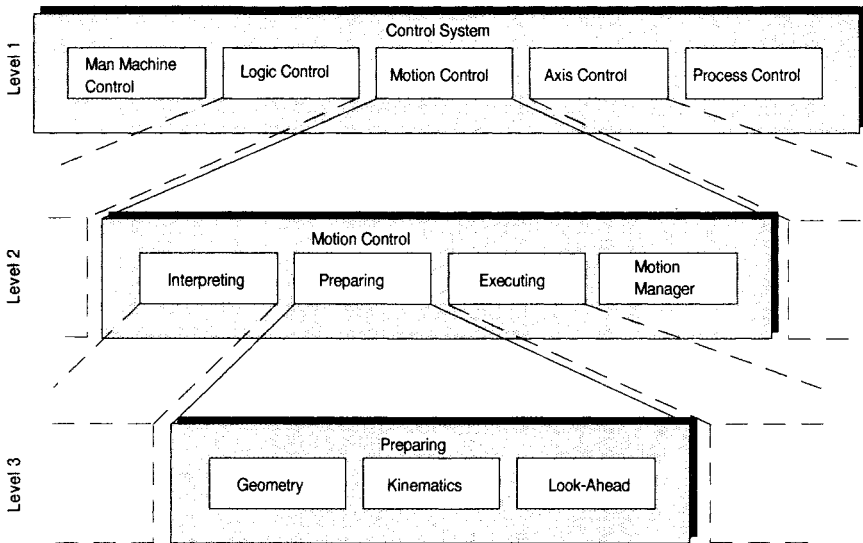


Abb. 4: OSACA-Referenzarchitektur

Die Bereitstellung herstellerübergreifend offener Steuerungen erfordert Werkzeuge, um die neu geschaffenen Integrations- und Adaptionmöglichkeiten zu erschließen. In PG 2 wird hierzu ein einheitliches, anwenderorientiertes, graphisches Konfigurierungswerkzeug entworfen. Ein solches Werkzeug wird dem Maschinenhersteller eine applikationsspezifische Steuerungskonfiguration ermöglichen. Dies umfaßt die Gestaltung der topologischen Struktur und die Grundparametrierung. Der Anwendungsbereich dieses Werkzeuges ist nicht auf die Konfigurierung einzelner Steuerungen beschränkt, sondern zielt auf die funktionsorientierte Umsetzung steuerungstechnischer Aufgaben und schließt damit auch die Verknüpfung mehrerer Systeme ein.

Die Stellung des Menschen im Produktionsprozeß hat sich verändert. Unabhängig von Organisationskonzepten ist es das jeweilige Ziel, die besonderen Fähigkeiten des Menschen optimal in den Wertschöpfungsprozeß zu integrieren. Daher werden in PG 3 die Anwenderanforderungen an Steuerungstechnik zunächst eingehend analysiert. Dies umfaßt alle Aspekte von der Gestaltung der Oberflächen über Steuerungsfunktionen bis hin zu Hardwarekomponenten. Abgeleitet aus dieser Analyse werden in einem Style Guide Begriffe, Symbole und Dialogobjekte standardisiert

und eine handlungsorientierte Strukturierung der Tätigkeiten an Steuerungen definiert.

Die Entwicklung von Applikationsmodulen erfolgt in den Gruppen 4 und 5. Ziel der PG 4 ist die Spezifikation und prototypische Realisierung von Funktionsmodulen für dispositive Aufgaben, die als Anwendungen in Maschinensteuerungen zur Verfügung gestellt werden. Im einzelnen werden die Aspekte Auftrags-, Werkzeug-, und Palettenmanagement sowie die Transportgerätesteuerung betrachtet. Funktionen, Datenmodelle und Schnittstellen dieser Module werden herstellerübergreifend abgestimmt. Es sollen auf die Anwendung konfigurierbare Softwarebausteine entwickelt werden. Bei der Festlegung des Funktionsumfangs und der Gestaltung der Benutzeroberflächen werden die Ergebnisse der Anwenderanalyse bzw. die Festlegungen des Style Guide aus PG 3 berücksichtigt.

In PG 5 werden Funktionsmodule für Diagnose, MDE/BDE und die Wartungsunterstützung betrachtet. Auch für diese Funktionen sollen auf den Anwendungsfall konfigurierbare Softwarebausteine entstehen. Es wird berücksichtigt, daß für Wartung und Diagnose die Möglichkeit geschaffen wird, Erfahrungswissen des Werkers abzubilden. Somit können diese Module im praktischen Einsatz ergänzt und optimiert werden. Erweiterte Möglichkeiten bieten sich durch den Einsatz der Ferndiagnose, die als integraler Bestandteil der Diagnose angesehen und ebenfalls in dieser Gruppe betrachtet wird.

Als Klammer über die inhaltlichen Schwerpunkte der einzelnen Projektgemeinschaften wurde eine Querschnittsgruppe gebildet, in der allgemeine Themen behandelt werden. Zunächst bildet sie das Forum zur Diskussion zentraler Fragestellungen und betreut die Zusammenführung der Einzelergebnisse aus den Projektgemeinschaften in einem Demonstrator. Prozeßnah an Anlagen der Industriepartner werden die Funktionsfähigkeit der Anwendungsmodule, die Konformität der Schnittstellen sowie die Interoperabilität der Systeme demonstriert.

Der Aspekt der Wirtschaftlichkeit wird in der Diskussion zum Thema „herstellerübergreifende Offenheit“ immer wieder aufgegriffen. Hierzu werden Argumentationen pro und contra dieses Steuerungskonzeptes abgeleitet. Allerdings fehlt bisher die Basis für quantitative Aussagen. Daher sollen ausgehend von einer Kriteriendefinition und -bewertung die Effekte in den unterschiedlichen Stadien der Wertschöpfungskette,

von der Steuerungsentwicklung über die Applikation bis hin zu Schulung und Service, untersucht werden. Ziel ist es, ein Gesamtbild zur Wirtschaftlichkeit zu erarbeiten und in zentralen Bereichen quantitativ zu untermauern.

Der Begriff „Offenheit“ wurde in jüngster Vergangenheit für unterschiedliche Steuerungscharakteristika verwendet. Ziel muß es sein, die Ausprägung „herstellerübergreifende Offenheit“ eindeutig zu orientieren und zu definieren. Daher sollen geeignete Prüfmethoden konzipiert werden, um Softwarebausteine hinsichtlich ihrer OSACA-Konformität zu prüfen. Langfristig muß dies durch eine geeignete Organisation sichergestellt werden.

Objektorientierte Bearbeitungsmodellierung zur werkergerechten Modifikation von Freiformflächenbearbeitungen

1. Probleme und Defizite beim Modifizieren von Bearbeitungsprogrammen
2. Verfahrenskette zur Bearbeitungsmodellierung
3. Entwicklung eines objektorientierten Bearbeitungsmodells
4. Realisierungen

Anhand der im laufenden BMFT-Verbundprojekt „Nutzerunterstützung bei Freiformflächenbearbeitungen“ (WNF) durchgeführten Befragungen im Bereich Werkzeug-, Formen- und Modellbau sowie des WNF-Vorprojekts „Aufzeigen von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für eine werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung“ wurden eine Vielzahl von Problemen und Defiziten ermittelt (Storr u.a. 1995, S. 29; Gierschick 1995, S. 5; Storr u.a. 1993, S. 22). Insbesondere das werkergerechte Modifizieren von Bearbeitungsprogrammen direkt über die Benutzungsoberfläche der Steuerung (maschinengebundenes Modifizieren) wird nur unzureichend unterstützt. Eine Grundvoraussetzung, um einen vergrößerten Umfang an maschinengebundenen Modifikationsfunktionen zur Verfügung zu stellen, ist die Entwicklung eines objektorientierten Bearbeitungsmodells zur Erhöhung des Informationsniveaus im Vergleich zur bestehenden NC-Schnittstelle (DIN 66025) zwischen Arbeitsvorbereitung und Werkstatt. Der Aufbau des objektorientierten Bearbeitungsmodells sowie dessen Einbindung in bestehende Verfahrensketten wird nachfolgend aufgezeigt.

1. Probleme und Defizite beim Modifizieren von Bearbeitungsprogrammen

Bei der NC-Programmierung werden Werkzeugbahnen innerhalb eines NC-Programmiersystems durch einzelne Werkzeugbahnsegmente, wie den Zerspanvorgang (Definition der Bearbeitungsstrategie), die Anfahrt und Abfahrbewegungen sowie die Bahnverketzung, beschrieben (Abb. 1.1). In der Ausgabe aus dem NC-Programmiersystem ist diese segmentierte Beschreibungsform im Steuerprogramm nach DIN 66025 i.d.R. nicht erkennbar. Das Steuerprogramm stellt sich als ein wenig strukturiertes, sequentielles Aneinanderreihen von Verfahr- und Schaltbefehlen, ohne Bezug zur fertigen Werkstückgeometrie, dar. Ein effizientes, problemangepaßtes Modifizieren des Steuerprogramms (Abb. 1.2) ist somit nicht möglich. Zum Überprüfen und Überwachen der Bearbeitungsstrategie stehen außer den bereits genannten Editier- und ansatzweise vorhandenen Visualisierungsfunktionen (meist nur 2D) maschinengebunden keine weiteren signifikanten Modifikationsfunktionen zur

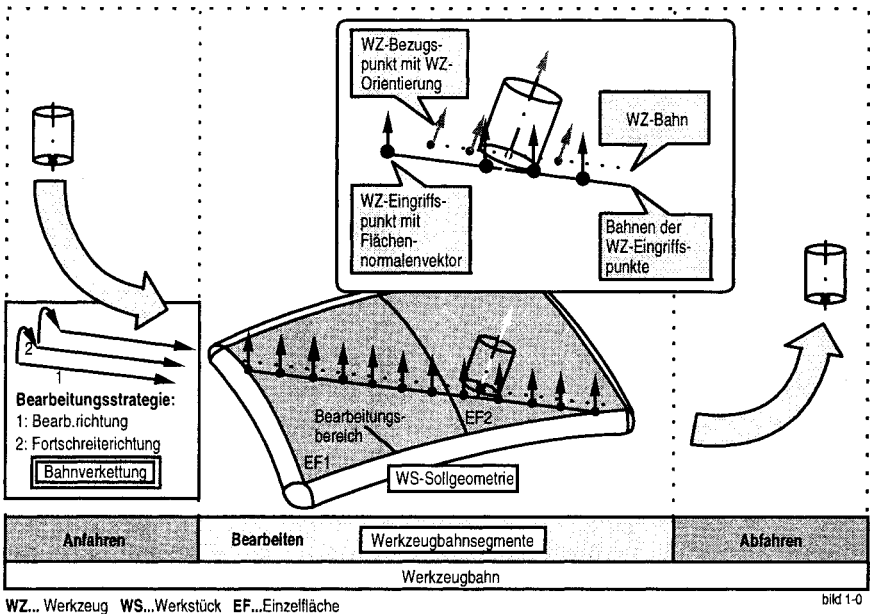


Abb. 1.1: Begriffsdefinitionen

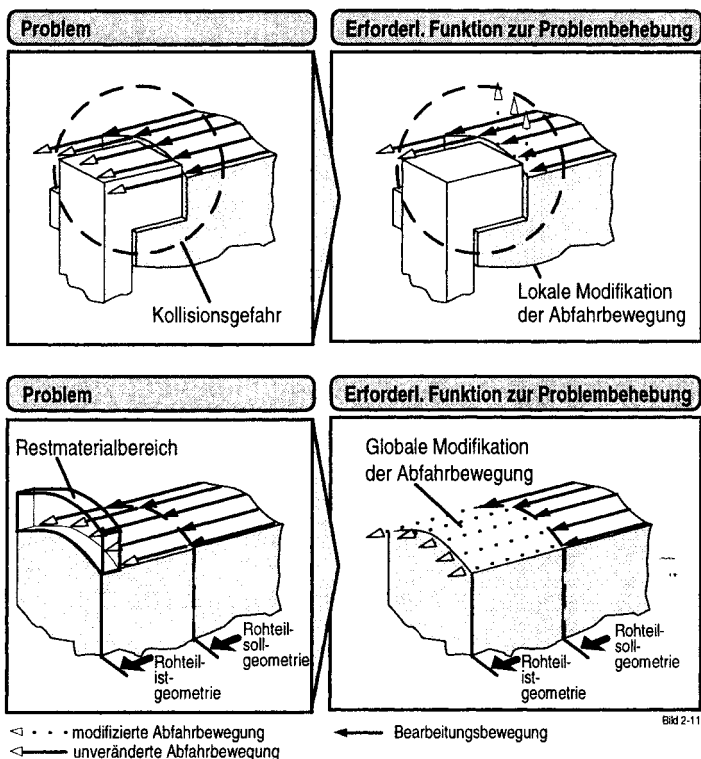


Abb. 1.2: Exemplarische Modifikationsfunktionen am Beispiel der Abfahrbewegung

Verfügung. Maschinengebundene Funktionen wie das Beschneiden bzw. Begrenzen des Steuerprogramms, die Auswahl einzelner Werkzeugbahnen, das Begrenzen der Eintauchtiefe oder eine Bohr-/Tauchschnittvermeidung gehören nicht zum derzeitigen Stand der Technik. Dies gilt ebenso für das Erkennen und Nachbearbeiten daraus resultierender Restmaterialbereiche.

Eine zusammenfassende Bewertung der maschinengebunden verfügbaren Modifikationsmöglichkeiten zur Werkerunterstützung beim Einrichten, Einfahren und Bearbeiten zeigt Abbildung 1.3.

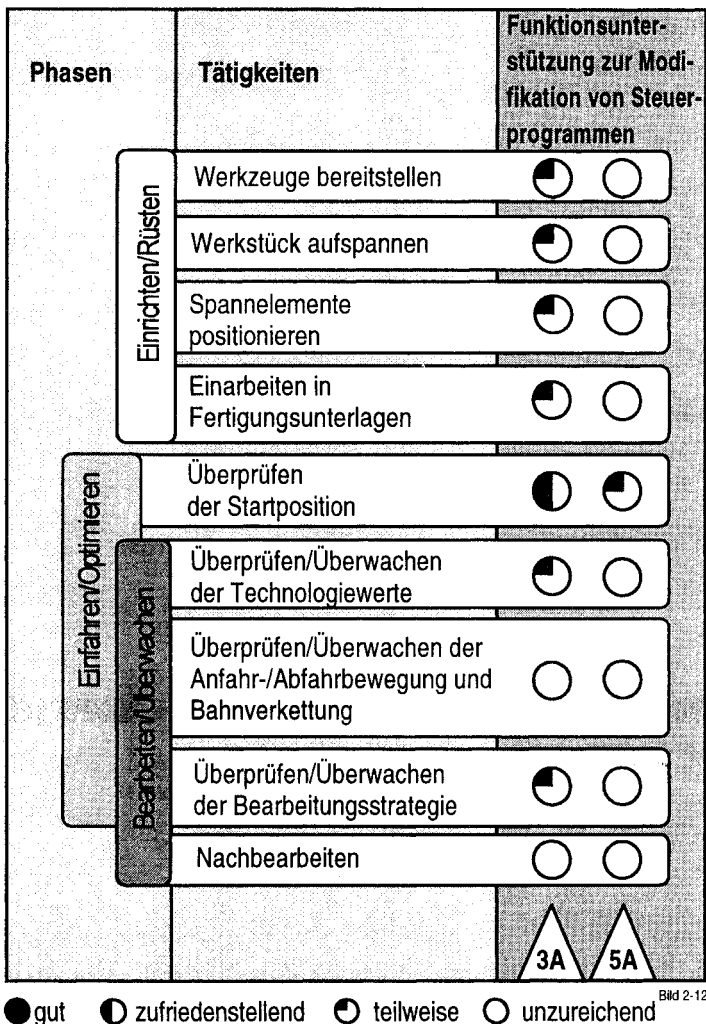


Abb. 1.3: Bewertung der Funktionsunterstützung zur Modifikation von Steuerprogrammen

Für fünfachsiges Bearbeiten existieren bis auf das Überprüfen von Startpositionen durchweg nur unzureichende Modifikationsmöglichkeiten, für dreiachsige sind Modifikationsmöglichkeiten teilweise vorhanden. Es besteht jedoch ein großer Handlungsbedarf innerhalb der Verfahrensketten im Werkzeug- und Formenbau, die Möglichkeit einer ma-

schinengebundenen Funktionsunterstützung zur Modifikation von Steuerprogrammen vorzusehen, um sowohl für drei- als auch für fünfschichtige Freiformflächenbearbeitungen die Produktivität künftig zu erhöhen (Storr, Itterheim 1994, S. 72). Eine Übersicht über den geforderten Umfang der künftig maschinengebunden zur Verfügung stehenden Modifikationsmöglichkeiten zeigt Abbildung 1.4.

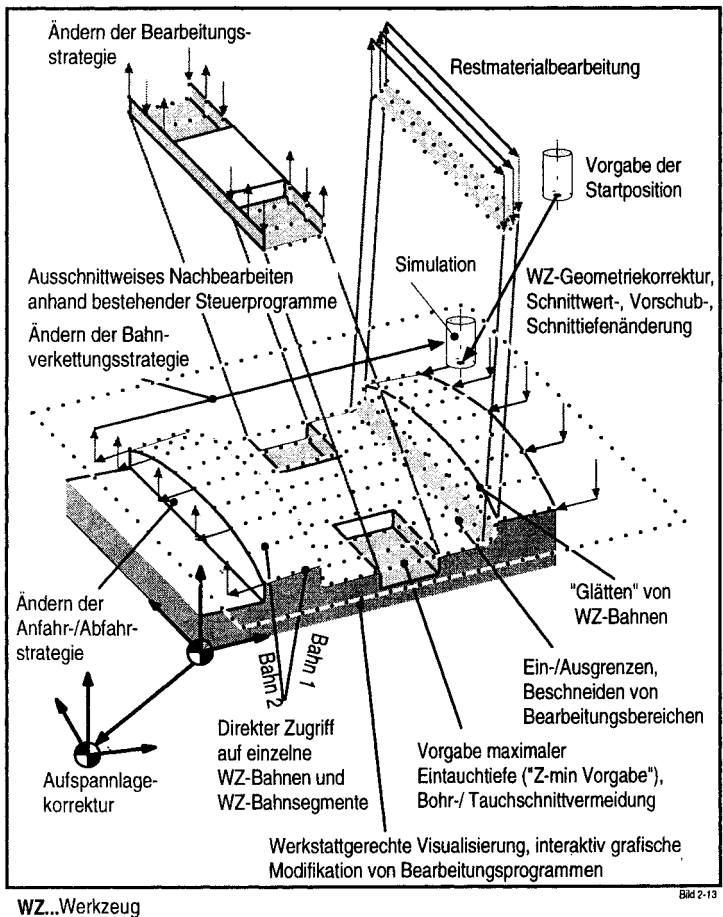


Abb. 1.4: Anforderungen an maschinengebundene Modifikationsfunktionen

2. Verfahrenskette zur Bearbeitungsmodellierung

Entsprechend den ermittelten Anforderungen (vgl. Abb. 1.4) werden im vorliegenden Abschnitt unterschiedliche Varianten der Bearbeitungsmodellierung anhand der bestehenden CLDATA- und NC-Schnittstelle untersucht und mit der Variante eines objektorientierten Bearbeitungsmodells als neue NC-Schnittstelle verglichen. Als *einheitliche Bewertungsba-*sis bietet es sich an, dieser Schnittstellenanalyse den in Abbildung 1.4 auszugsweise aufgeführten Umfang an Modifikationsfunktionen zugrunde zu legen. Gegliedert nach NC-Programmiersystemfunktionen (Abb. 2.1), Grafik- und Postprocessorfunktionen (Abb. 2.2) erhält man, den Funktionen zugeordnet, eine signifikante Auswahl an technischen und den Bearbeitungsablauf beschreibenden Informationen, anhand derer die Varianten der Bearbeitungsmodellierung bewertet werden können. Die den Bearbeitungsablauf beschreibenden Informationen werden im folgenden auch strukturierende Informationen genannt.

Modifikationsfunktionen		Erforderl. Informationen	Strukturierende Informationen					Technische Informationen									
			Kennung für einzelne WZ-Bahnen	WZ-Bahnsegmentierung	Reihenfolge der WZ-Bahnsegmente	Bezug zur WS-Geometrie	Bezug zu Restmaterialbereichen	WZ-Bahnen	WZ-Eingriffspunkte	Vorschub	Spindeldrehzahl	Aufmaß	Toleranzen	Parameter der WZ-Bahnsegmente	Spannsituation	Aufspannlage, Nullpunkte	WZ-Geometrie
PS-Funktionen	Schnittwert-, Vorschub-, Schnitttiefenänderung		✓							✓	✓	✓					
	Eintauchtiefebegrenzung	✓	✓	✓				✓									
	"Glätten" von WZ-Bahnen	✓	✓	✓				✓				✓	✓				
	An-/Abfahr-, Bahnverkettungsstrategieänderung	✓	✓	✓				✓						✓			
	Bearbeitungsstrategieänderung	✓	✓	✓				✓	✓					✓			✓
	Definition von Nachbearbeitungsstrategien	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Restmaterialbearbeitung	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Bild 3-2

Bild 3-2

WZ ... Werkzeug WS ... Werkstück PS ... Programmiersystem ✓ ...für Modifikationsfunktion erforderl. Information

Abb. 2.1: Zusammenhang zwischen Modifikationsfunktionen (NC-Programmiersystemfunktionen) und den dafür erforderlichen Informationen

Modifikationsfunktionen		Erforderl. Informationen	Strukturierende Informationen					Technische Informationen									
			Kennung für einzelne WZ-Bahnen	WZ-Bahnsegmentierung	Reihenfolge der WZ-Bahnsegmente	Bezug zur WZ-Geometrie	Bezug zu Restmaterialbereichen	WZ-Bahnen	WZ-Eingriffspunkte	Vorschub	Spindeldrehzahl	Aufmaß	Toleranzen	Parameter der WZ-Bahnsegmente	Spannsituation	Aufspannlage, Nullpunkte	WZ-Geometrie
Grafik-Funktionen	Werkstattgerechte Visualisierung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Ein-/Ausgrenzen, Beschneiden von Bearb.bereichen	✓	✓	✓	✓		✓	✓						✓			
	Auswahl einzelner WZ-Bahnen und -Segmente	✓	✓	✓			✓	✓									
	Simulation /Visualisierung						✓	✓	✓						✓	✓	✓
PP-Fkt.	Aufspannlagekorrektur						✓	✓								✓	
	WZ-Geometriekorrektur						✓	✓			✓						✓
								Bild 3-3									
WZ...Werkzeug		WS...Werkstück	PP...Postprocessor	✓...für Modifikationsfunktion erforderlich. Information													

Bild 3-3

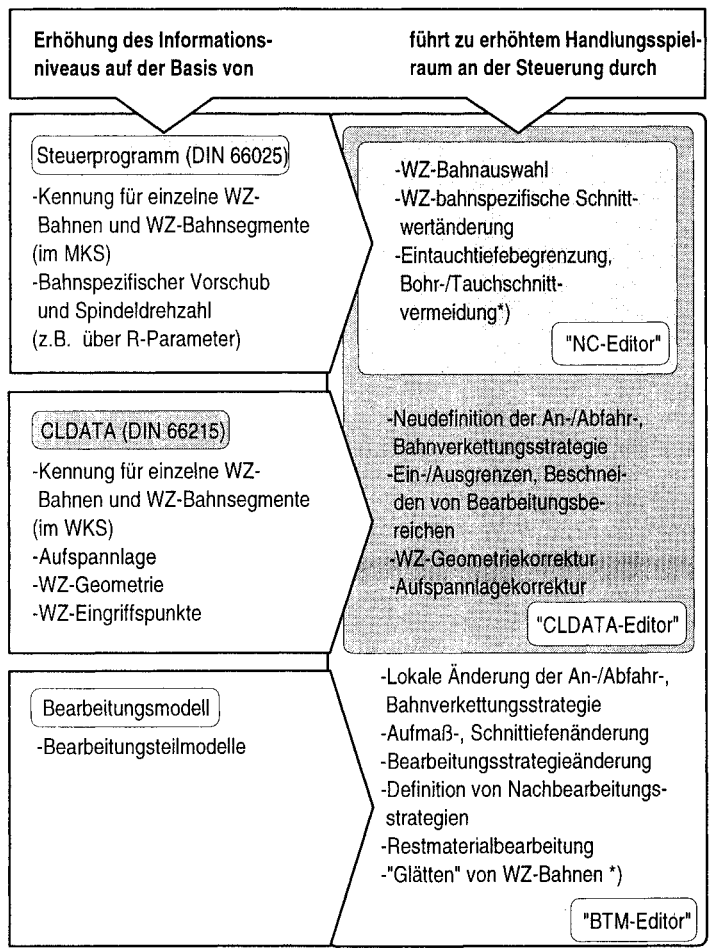
WZ...Werkzeug WS...Werkstück PP...Postprocessor ✓ ...für Modifikationsfunktion erforderl. Information

Abb. 2.2: Zusammenhang zwischen Modifikationsfunktionen (Postprocessor- und Grafikfunktionen) und den dafür erforderlichen Informationen

Die *technischen Informationen* zeigen eine Vielfalt unterschiedlicher Entstehungsfaktoren und Zuordnungen auf, so daß sie einen repräsentativen Querschnitt aller zur Definition und Berechnung eines Bearbeitungsvorgangs notwendigen Informationen darstellen. Ein Bewerten auf dieser Basis erscheint demnach als hinreichend begründet:

- Werkzeugbahnen, Parameter von Werkzeugbahnsegmenten und Werkzeugeingriffspunkte sind von geometrischer Ausprägung und resultieren aus der Technologiedefinition (z.B. Festlegen der Anfahr-, Abfahr-, Zerspanstrategie),
- Vorschub, Spindeldrehzahl und damit die Schnittwerte sind Technologiewerte,
- Aufmaß und Toleranzen dienen der Festlegung der Bearbeitungsqualität und sind ebenfalls geometriebezogene Größen,
- Spannsituation, Aufspannlage, Nullpunkte stellen den Bezug zum Bearbeitungsraum und somit zur Werkzeugmaschine und dem zugehörigen Postprocessor dar,
- die Werkzeuggeometrie beschreibt das für die Zerspanung eingesetzte Werkzeug.

Unter *strukturierenden Informationen* ist in diesem Zusammenhang der Bezug voneinander abhängiger bzw. zusammengehörender technischer Informationen zu verstehen.



*) nur für 3-achsige Bearbeitung
MKs...Maschinenkoordinatensystem WKS...Werkstückkoordinatensystem WZ...Werkzeug

Abb. 2.3: Zusammenhang zwischen erhöhtem Informationsniveau der Schnittstellenvarianten und den somit realisierbaren Modifikationsfunktionen

Beispiele sind Werkzeugbahnen, die wiederum aus Werkzeugbahnsegmenten bestehen. Die Reihenfolge der Werkzeugbahnsegmente definiert den Bearbeitungsablauf und ist ausschlaggebend für die Bearbeitungs- und Fortschreiterichtung. Die aufgeführten strukturierenden Informationen beschreiben die durchgehenden Zusammenhänge, ausgehend von der Werkstücksollgeometrie über die Bearbeitungsstrategie, die Eingriffspunkte und Flächennormalenvektoren bis hin zu den Werkzeugbezugspunkten und damit zu den resultierenden Werkzeugbahnen und Werkzeugbahnsegmenten.

Abbildung 2.3 verdeutlicht für die unterschiedlichen Varianten der Bearbeitungsmodellierung den Zusammenhang zwischen dem Informationsniveau und der somit erreichbaren Erhöhung des Handlungsspielraums an der Steuerung. Zum einen wird die Notwendigkeit eines objektorientierten Bearbeitungsmodells, zum anderen eine sukzessive Erhöhung des Handlungsspielraums offensichtlich. Die gemäß Variante 1 (auf der Basis der NC-Schnittstelle) realisierbaren Modifikationsfunktionen stellen eine Untermenge der gemäß Variante 2 (auf der Basis der CLDATA-Schnittstelle) und diese wiederum eine Untermenge der gemäß Variante 3 (auf der Basis eines objektorientierten Bearbeitungsmodells) realisierbaren Modifikationsfunktionen dar.

Dies bedeutet, daß die Entwicklung eines objektorientierten Bearbeitungsmodells nicht nur einer deutlichen Vergrößerung des Handlungsspielraums entspricht. Gleichzeitig können durch Konzipierung entsprechender Schnittstellen die anderen zwei Varianten davon abgeleitet werden. Unterschiedliche Ausbaustufen an maschinengebunden verfügbaren Modifikationsfunktionen stehen somit zur Verfügung (Abb. 2.4). Dies setzt ein Ableiten eines erweiterten CLDATA-Formats aus dem objektorientierten Bearbeitungsmodell sowie ein weiteres Umsetzen in das Steuerprogrammformat voraus.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der Erfüllungsgrad der Steuerprogramm- und CLDATA-Schnittstelle bez. den gestellten Anforderungen an den strukturierenden und technischen Informationsinhalt unzureichend ist. Als Basis für die Bearbeitungsmodellierung sind sie weniger gut geeignet, so daß die Entwicklung eines neuartigen, objektorientierten Bearbeitungsmodells notwendig ist.

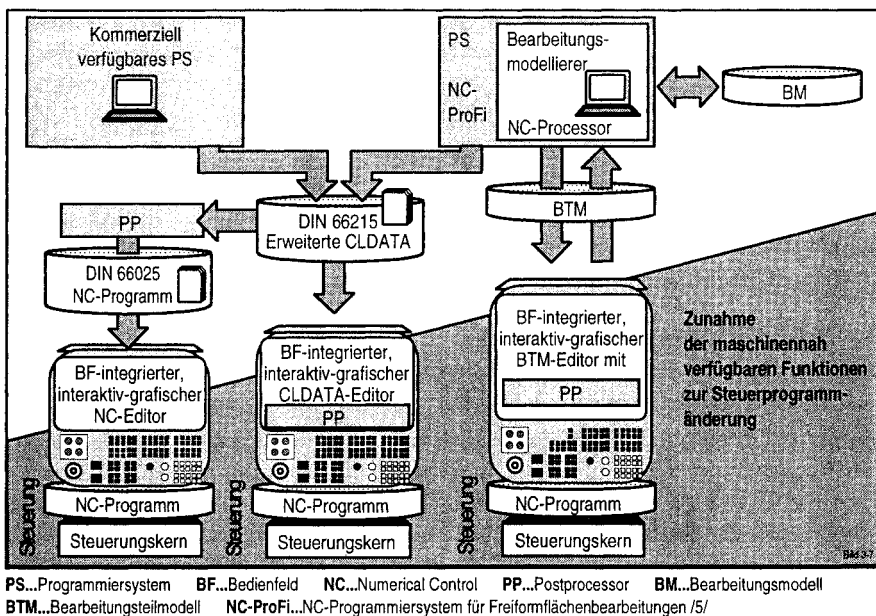


Abb. 2.4: Migrationswege zur Anbindung der neuartigen BM-Verfahrenskette an bestehende Verfahrensketten

3. Entwicklung eines objektorientierten Bearbeitungsmodells

Ausgehend von den in Abbildung 1.4 auszugsweise aufgeführten Modifikationsfunktionen und den in den Abbildungen 2.1 und 2.2 zugeordneten strukturierenden und technischen Informationen ist zunächst eine Grobstruktur des Bearbeitungsmodells abzuleiten.

Das objektorientierte Bearbeitungsmodell entspricht einem Datenmodell, dem klassenspezifische Methoden zur Datennutzung zugeordnet werden (Rumbaugh u.a. 1993; Stein 1994). Demzufolge führt eine Klassifikation der zur Realisierung von Modifikationsfunktionen erforderlichen Informationen zu einer Gliederung des Bearbeitungsmodells in die nachfolgend aufgeführten Submodelle (Abb. 3.1):

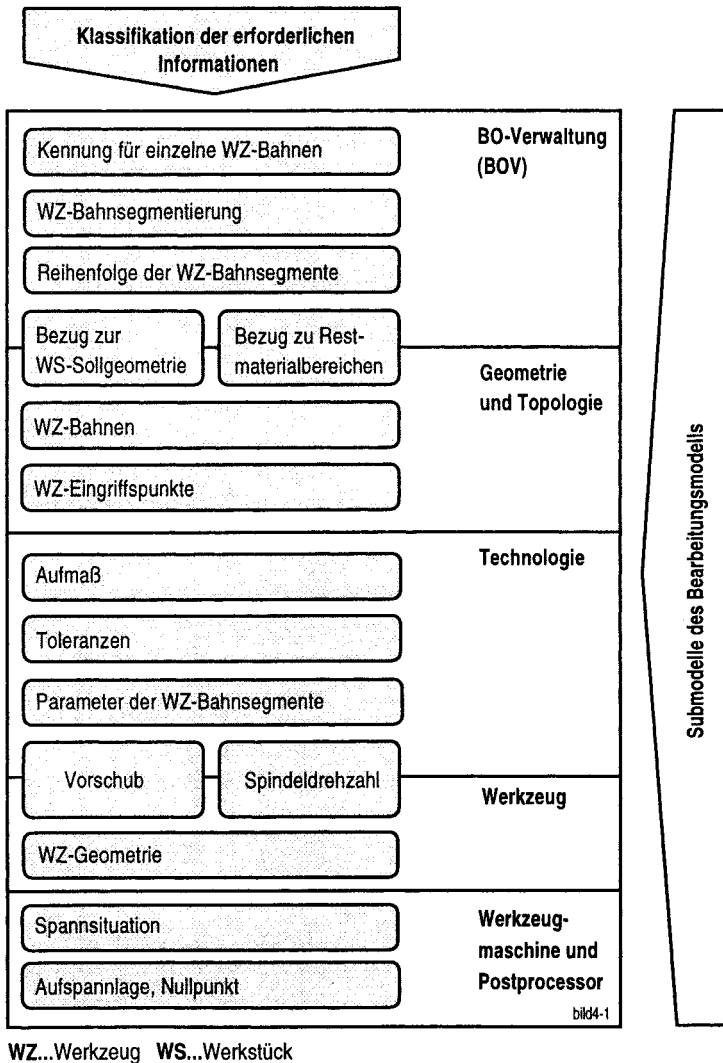


Abb. 3.1: Submodelle des Bearbeitungsmodells

- Submodell „*Geometrie und Topologie*“ zur Beschreibung und Verwaltung aller notwendigen geometrischen Informationen wie z.B. Werkstücksollgeometrie (Bearbeitungsbereiche) oder Werkzeugbahnen.

- Submodell „*Technologie*“ dient der bearbeitungsbereichsspezifischen Bearbeitungsdefinition und verwaltet gleichzeitig die Bearbeitungsablaufbeschreibung.
- Submodell „*Werkzeug*“ enthält die Klassifikation verschiedener materialabtragender Werkzeuge wie Fräser und Bohrer. Über das Submodell „Werkzeug“ erfolgt die Werkzeugauswahl und -zuordnung zur Bearbeitungsdefinition.
- Submodell „*Werkzeugmaschine und Postprocessor*“ zur Auswahl der einzusetzenden Werkzeugmaschine. Damit verbunden sind neben den Informationen zur Werkzeugmaschine die Konfigurationsdaten für die zugehörige Steuerung und den maschinenspezifischen Postprocessor.
- Submodell „*Bearbeitungsobjektverwaltung*“ verwaltet alle innerhalb eines Bearbeitungsmodells bzw. Bearbeitungsteilmodells definierten Bearbeitungsvorgänge einschließlich deren Reihenfolge zur Abarbeitung (Bearbeitungsvorgangsfolge).

Ein Vergleich mit Zirbs (1989) zeigt zudem, daß die dort beschriebenen Phasen und Tätigkeiten zur Steuerprogrammerstellung auf diese Submodelle abbildbar sind und somit auch dem Grundgedanken der Objektorientiertheit, reale Vorgänge durch ein abstraktes Abbild zu beschreiben, gerecht werden (Abb. 3.2).

Phasen und Tätigkeiten zur Steuerprogrammerstellung		Submodelle
Fertigungsteilvorgänge und damit Bearbeitungsbereiche festlegen,	=>>	Submodell "Geometrie und Topologie"
Planen von Fertigungsteilvorgängen, d.h. Werkzeugauswahl und Bearbeitungsdefinition,	=>> =>>	Submodell "Werkzeug" und Submodell "Technologie"
Zuordnung der Werkzeugmaschine und Erzeugen der Fertigungsunterlagen.	=>>	Submodell "Werkzeugmaschine und Postprocessor"

=>> ... Abbildung

Abb. 3.2: Abbildung der Phasen und Tätigkeiten zur Steuerprogrammerstellung auf Submodelle

Das Diagramm zeigt die Teilschritte der Bearbeitungsmodellierung, unterteilt in zwei Hauptbereiche: NC-Programmiersystem und BTM-Editor.

NC-Programmiersystem:

- BO-Definition:** Geometrieanalyse, Bearbeitungsdefinition.
- Zuordnung von Bearbeitungsobjekten zu BTM:** Ein zentraler Schritt, der die Verbindung zwischen der BO-Definition und der BTM-Definition darstellt.

BTM-Editor:

- BO-Verwaltung und -Reihenfolgebildung:** Ein zentraler Schritt, der die Verwaltung und Reihenfolgebildung der BO darstellt.
- Ergänzen, Modifizieren des BA:** Ein Schritt, der das Ergänzen und Modifizieren des BA darstellt.
- Maschinenspezifisches Generieren des BA:** Ein Schritt, der das Maschinenspezifische Generieren des BA darstellt.
- Verifikation des BA:** Ein Schritt, der die Verifikation des BA darstellt.

Beispiele:

- NC-Programmiersystem:**
 - Geometrieanalyse:** Ein 3D-Modell eines Bauteils mit der Beschriftung "B Bereich1".
 - Bearbeitungsdefinition:** Ein 3D-Modell eines Bauteils mit der Beschriftung "B Bereich1" und "B Techno 1".
 - Zuordnung von Bearbeitungsobjekten zu BTM:** Ein Diagramm, das die Zuordnung von BO zu BTM zeigt. Es gibt zwei BTM (BTM1, BTM2) und fünf BO (BO1, BO2, BO3, BO4, BO5).
- BTM-Editor:**
 - BO-Verwaltung und -Reihenfolgebildung:** Ein Diagramm, das die Verwaltung und Reihenfolgebildung der BO darstellt. Es gibt zwei BTM (BTM1, BTM2) und fünf BO (BO1, BO2, BO3, BO4, BO5).
 - Ergänzen, Modifizieren des BA:** Ein Diagramm, das das Ergänzen und Modifizieren des BA darstellt. Es gibt zwei BTM (BTM1, BTM2) und fünf BO (BO1, BO2, BO3, BO4, BO5).
 - Maschinenspezifisches Generieren des BA:** Ein Diagramm, das das Maschinenspezifische Generieren des BA darstellt. Es gibt zwei BTM (BTM1, BTM2) und fünf BO (BO1, BO2, BO3, BO4, BO5).
 - Verifikation des BA:** Ein Diagramm, das die Verifikation des BA darstellt. Es gibt zwei BTM (BTM1, BTM2) und fünf BO (BO1, BO2, BO3, BO4, BO5).

Legende:

- NC-Programmiersystem:** "Geometrie und Topologie", "Technologie", "Werkzeug", "BO-Verwaltung", "Werkzeugmaschine".
- BTM-Editor:** "BO-Verwaltung", "BO-Verwaltung", "Technologie", "Geometrie und Topologie", "Werkzeug", "Werkzeugmaschine und Postprocessor".

Das *Generieren des Bearbeitungsmodells* entspricht der interaktiv grafischen NC-Programmierung, dessen erster Teilschritt nach der Übernahme einer Werkstücksollgeometrie von einem CAD-System z.B. eine *Geometrieanalyse* ist. Die Geometrieanalyse enthält Methoden zur Berechnung von Krümmungen und Krümmungsverläufen der Werkstücksollgeometrie und dient der Unterstützung des Anwenders bei der Festlegung von Bearbeitungsbereichen. Bearbeitungsbereiche entsprechen i.d.R. mehreren topologisch verknüpften Einzelflächen, die zusammenhängend zu bearbeiten sind und durch das Submodell „Geometrie und Topologie“ abgebildet werden.

Die *Bearbeitungsdefinition* dient neben der Festlegung des Zerspanvorgangs und des zugehörigen Werkzeugs der Berechnung von Werkzeugbahnen und der Beschreibung des Bearbeitungsablaufs. Die Zuordnung einer Bearbeitungsdefinition zu einem Bearbeitungsbereich wird im weiteren Verlauf durch ein *Bearbeitungsobjekt* (BO) beschrieben und entspricht einem Bearbeitungsvorgang.

Das zu bearbeitende Werkstück läßt sich i.d.R. nicht in einer Aufspannung oder auf einer Werkzeugmaschine fertigen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werden *Bearbeitungsteilmodelle* definiert. Zu jeder Aufspannung bzw. Werkzeugmaschine wird ein Bearbeitungsteilmodell (BTM) generiert, dem die jeweils zugehörigen Bearbeitungsobjekte zugeordnet werden. Das Bearbeitungsteilmodell ist als neuartige Schnittstelle zwischen NC-Programmiersystem und dem auf der Steuerung einer Werkzeugmaschine implementierten BTM-Editor zu entwickeln.

Dieser neu zu entwickelnde BTM-Editor benötigt zum Modifizieren von Bearbeitungsprogrammen eine strukturierte, flexible *Bearbeitungsobjektverwaltung* (BOV), die neben den Bearbeitungsvorgängen (Bearbeitungsobjekte) auch die Bearbeitungsvorgangsfolge (Reihenfolge der BO-Abarbeitung) repräsentiert.

Das *Ergänzen und Modifizieren des Bearbeitungsablaufs* entspricht einer Änderung jeweils eines Bearbeitungsobjekts. Die auszugsweise aufgeführten Modifikationsfunktionen (vgl. Abb. 1.4) beziehen sich demzufolge auf

- den Bearbeitungsbereich (z.B. Ein-/Ausgrenzen des Bearbeitungsbereichs),
- die Bearbeitungsstrategie (z.B. An-/Abfahr-, Bahnverkettungsstrategie),
- das zugehörige Werkzeug (z.B. Werkzeuggeometrie, zulässige Schnittwerte)

und beeinflussen u.U. die BO-Reihenfolge. Als Beispiel sei das zusätzliche Einfügen neuer Bearbeitungsobjekte durch die Vorgabe einer Eintauchtiefebegrenzung und Nachbearbeitung der dadurch entstehenden Restmaterialbereiche genannt. Methoden zum Ergänzen und Modifizieren des Bearbeitungsablaufs können einerseits bestehende Funktionen

eines NC-Programmiersystems sein (z.B. Definition der An- und Abfahrstrategie), die in die zu entwickelnde Bearbeitungsmodellstruktur integriert werden. Andererseits sind neue Methoden unter objektorientierten Gesichtspunkten zu entwickeln, die vor allem das Verwalten und Abbilden durchgängiger Zusammenhänge für die Bearbeitungsobjekte und die Bearbeitungsablaufbeschreibung effizient unterstützen.

Das *maschinenspezifische Umsetzen* des Bearbeitungsmodells in ein Steuerprogramm entspricht den Funktionen eines Postprocessors, die zur Abbildung der durchgehenden Zusammenhänge zwischen der rechnerinternen Darstellung des Bearbeitungsmodells bis hin zu den entsprechenden Steuerprogrammanweisungen (NC-Sätze) als Methoden zu integrieren sind. In Verbindung mit einer grafischen Verifikation ist ein Überprüfen des Bearbeitungsablaufs unter gleichzeitiger Darstellung der Steuerprogrammanweisungen derart anzustreben, daß über die erwähnte Abbildung der durchgehenden Zusammenhänge ein einfaches Ergänzen und Modifizieren des Steuerprogramms an der Benutzungsoberfläche ermöglicht wird.

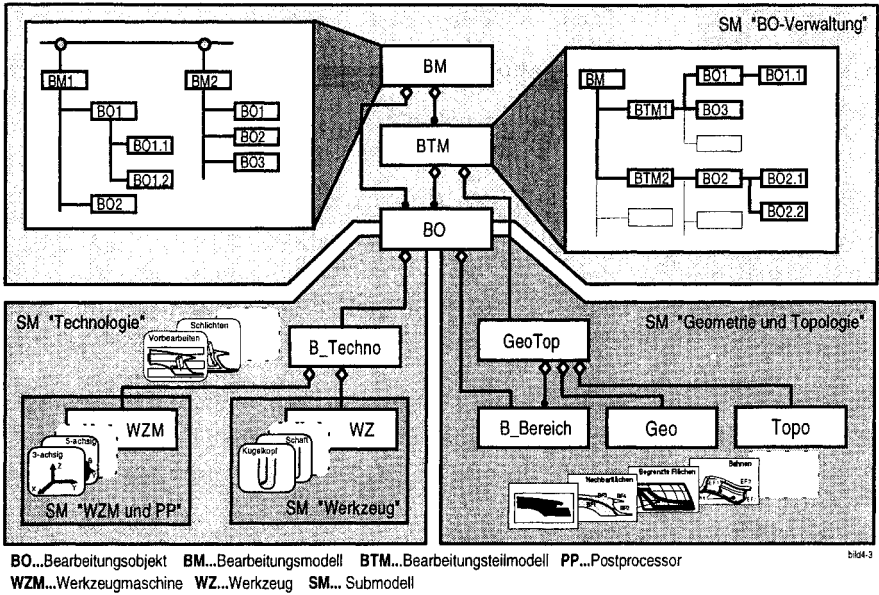


Abb. 3.4: Grobstruktur des Bearbeitungsmodells und der Submodelle

Die Grobstruktur des Bearbeitungsmodells in objektorientierter Notation nach Rumbaugh u.a. (1993) ist in Abbildung 3.4 dargestellt. Mit aufgeführt sind die bereits erwähnten Submodelle, von denen die Submodelle „Bearbeitungsobjektverwaltung“ und „Technologie“ im weiteren Verlauf detailliert werden.

3.1 Submodell „Bearbeitungsobjektverwaltung“

Zur Verwaltung von Bearbeitungsvorgängen, die durch Bearbeitungsobjekte beschrieben werden, und zur Bildung von Bearbeitungsvorgangsfolgen ist eine Bearbeitungsobjektverwaltung zu erarbeiten.

Die wichtigsten *Anforderungen an die Bearbeitungsobjektverwaltung* sind:

- Verwalten von neu definierten Bearbeitungsobjekten,
- Zuordnen von Bearbeitungsobjekten zu Bearbeitungsteilmodellen,
- Einordnen von über Modifikationsfunktionen erzeugten Bearbeitungsobjekten in die Bearbeitungsobjektstruktur,
- Bilden und Verwalten optimierter BO-Reihenfolgen,
- Verwalten von unterschiedlichen Zustandsformen der Bearbeitungsablaufbeschreibung (CLDATA-, Steuerprogramm usw.).

Unter Beachtung der genannten Anforderungen ergibt sich die in Abbildung 3.5 dargestellte verfeinerte Struktur der Bearbeitungsobjektverwaltung. Die Klasse BM beinhaltet einerseits über die Bearbeitungsobjektstruktur eine direkte Referenz auf die Bearbeitungsobjekte, andererseits eine indirekte Referenz über das Bearbeitungsteilmodell. Die direkte Referenzierung ist notwendig für die Definition der Bearbeitungsobjekte, bestehend aus Geometrieanalyse und Bearbeitungsdefinition. Sie werden durch die Bearbeitungsobjektstruktur verwaltet. Die Reihenfolge innerhalb der Bearbeitungsobjektstruktur ist entstehungsabhängig, d.h., sie entspricht dem zeitlichen Verlauf der Bearbeitungsobjektdefinition. Die Bearbeitungsteilmodelle repräsentieren, wie erwähnt, ein werkzeugmaschinen- bzw. aufspannspezifisches Zusammenfassen von Bearbeitungsobjekten. Gleichzeitig verweisen die Bearbeitungsteilmodelle auf die unterschiedlichen Zustandsformen der Bearbeitungsablaufbeschreibung, deren Generierung im weiteren Verlauf noch erläutert wird.

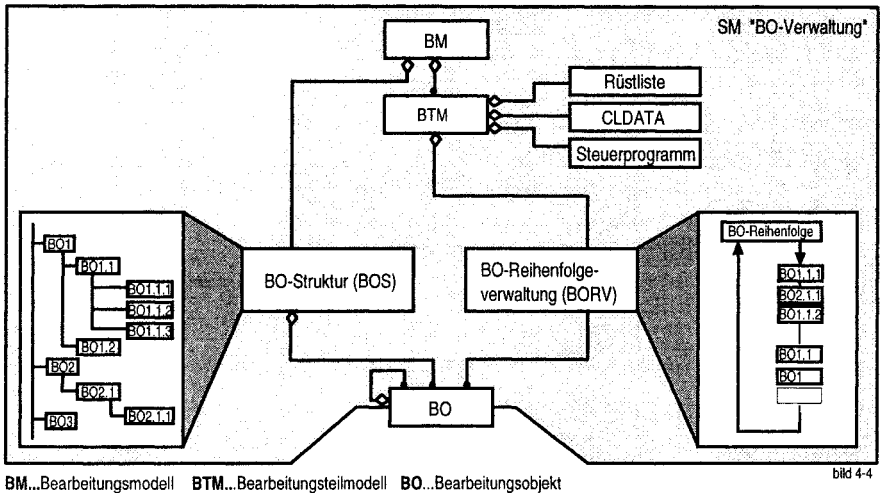


Abb. 3.5: Struktur der Bearbeitungsobjektverwaltung

Die Klasse Bearbeitungsobjekt-Reihenfolgeverwaltung (BORV) stellt ebenso wie die Klasse Bearbeitungsobjektstruktur eine Liste von Bearbeitungsobjekten dar. Im Gegensatz zur Bearbeitungsobjektstruktur liegen die Bearbeitungsobjekte jedoch in geordneter Form vor. Ein Optimierungskriterium ist beispielsweise das Zusammenfassen gleichartiger Werkzeuge zur Reduktion der Werkzeugwechselzeiten. Berücksichtigt sind hierbei technologische Abhängigkeiten wie Schruppen vor dem Schlichtvorgang. Technologische Abhängigkeiten werden entweder interaktiv grafisch vorgegeben oder nach einer Modifikation, die eine Unterteilung eines Bearbeitungsvorgangs in mehrere Bearbeitungsobjekte zur Folge hat, automatisch generiert. Die Technologieabhängigkeit (TA) besteht aus einer gegenseitigen Verzeigerung (Zeiger auf TA-Vorgänger und TA-Nachfolger) der betreffenden BO-Instanzen.

Ein Beispiel für eine Bearbeitungsobjektstruktur und Bearbeitungsobjekt-Reihenfolgeverwaltung zeigt Abbildung 3.6. Weiterhin ist abgebildet, wie in objektorientierter Notation die Referenz eines Bearbeitungsobjekts auf sich selbst (in Abb. 3.5 durch den Verweis der Klasse BO auf sich selbst dargestellt) in diesem Zusammenhang zu interpretieren ist. Am Beispiel des Bearbeitungsobjekts BO2 erkennt man, daß der dadurch beschriebene Bearbeitungsvorgang nach durchgeführten Modifikationen (Aufmaßänderung und Eintauchtiefebegrenzung) um weitere neue Bearbeitungsobjekte ergänzt wird.

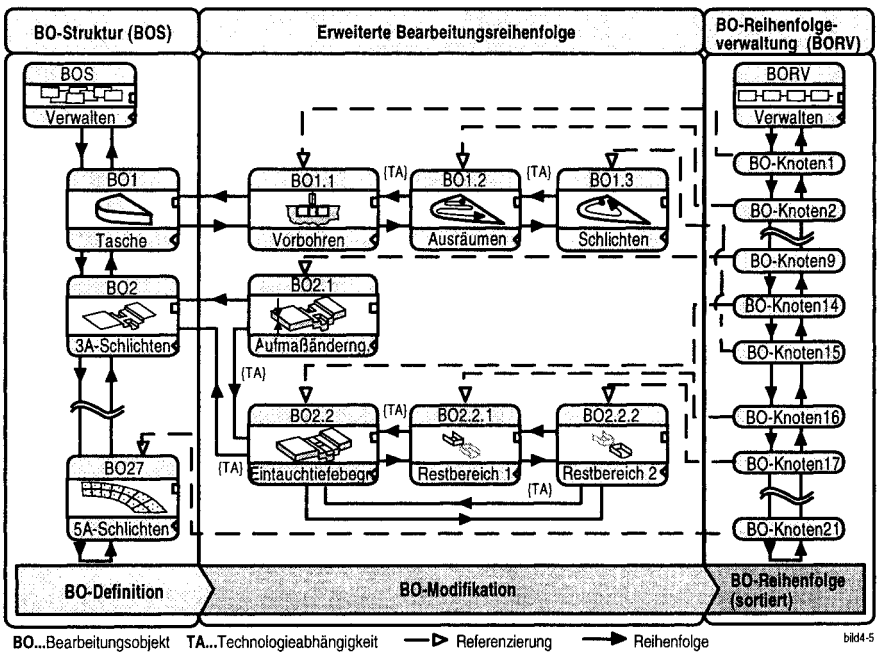


Abb. 3.6: Beispiel für eine Bearbeitungsobjektstruktur und Bearbeitungsobjekt-Reihenfolgeverwaltung

Im folgenden ist die Struktur eines Bearbeitungsobjekts (Bearbeitungsbereich und Bearbeitungsdefinition) detailliert herzuleiten, um die bislang formale Darstellung der Bearbeitungsobjekte und deren Verwaltung im Gesamtzusammenhang bis hin zur Bearbeitungsablaufbeschreibung verdeutlichen zu können. Der Bearbeitungsbereich wird durch das Submodell „Geometrie und Topologie“, dessen Klassen aufbauend auf Zirbs (1989) erarbeitet wurden, und die Bearbeitungsdefinition über das Submodell „Technologie“ abgebildet.

3.2 Submodell „Technologie“

Es wurde bereits angesprochen, daß ein Bearbeitungsobjekt aus einem ausgewählten Bearbeitungsbereich und einer darauf anzuwendenden Technologiezuordnung besteht. Letzteres ist Aufgabe des Submodells „Technologie“ und entspricht der Planung von Fertigungsteilvorgängen.

Ausgehend von den erforderlichen Informationen als Voraussetzung für das Realisieren maschinennaher Modifikationsfunktionen (Abb. 2.1 und 2.2) leiten sich für das Submodell „Technologie“ folgende Anforderungen ab:

- Bearbeitungsdefinition und Berechnen von Werkzeugbahnen,
- Verwalten unterschiedlicher Zustandsformen der Bearbeitungsablaufbeschreibung,
- Festlegen des zur Bearbeitung eingesetzten Werkzeugs,
- Festlegen der ausgewählten Werkzeugmaschine.

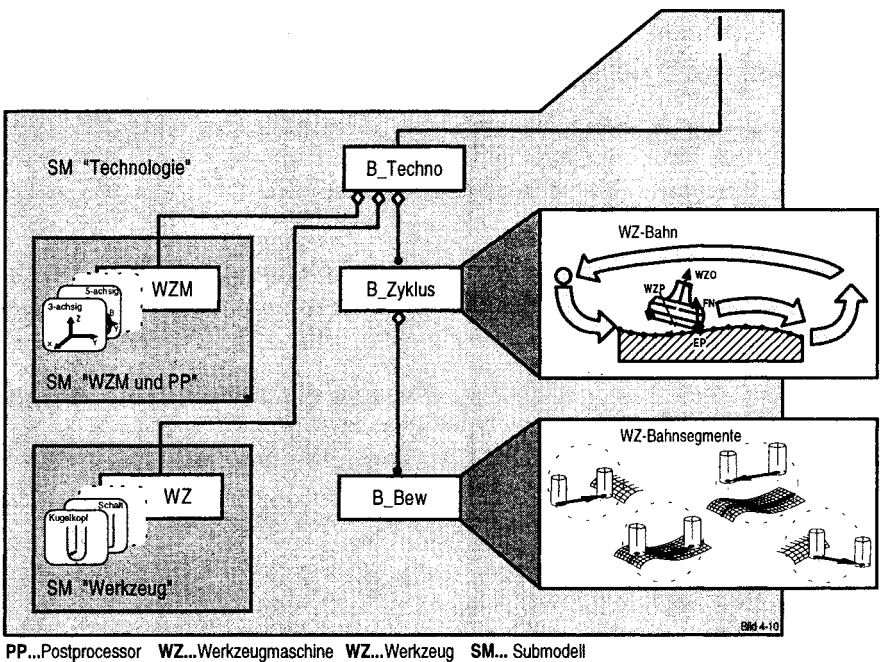


Abb. 3.7: Detaillierte Struktur des Submodells „Technologie“

Abbildung 3.7 veranschaulicht eine gegenüber Abbildung 3.4 detailliertere Struktur des Submodells „Technologie“. Auf die Submodelle „Werkzeugmaschine und Postprocessor“ und „Werkzeug“ wird in den nachfolgenden Abschnitten eingegangen. Zunächst stehen die Bearbeitungsdefinition und das Berechnen der Werkzeugbahnen über die Klasse

B_Techno (Bearbeitungstechnologie) sowie das Verwalten unterschiedlicher Formen der Bearbeitungsablaufbeschreibung im Vordergrund. Für das Verwalten der Bearbeitungsablaufbeschreibung werden die (Ober-) Klasse B_Zyklus (Bearbeitungszyklus), deren Instanzen jeweils einer Werkzeugbahn entsprechen, sowie die Klasse B_Bew (Bearbeitungsbewegung), deren (Unter-)Klassen jeweils ein Werkzeugbahnsegment darstellen, eingeführt.

3.2.1 Bearbeitungsdefinition und Berechnen von Werkzeugbahnen

Für das Bearbeiten von Werkstücken, die über eine Vielzahl von Freiformflächen beschrieben werden, werden über die NC-Programmiersysteme unterschiedliche Varianten zur Bearbeitungsdefinition angeboten. Häufig genutzte Varianten sind (Abb. 3.8 oben):

- entlang von Isoparameterlinien von Einzelflächen; wird oft angewandt im Strömungsmaschinenbau zur Herstellung von z.B. Turbinen-, Pumpen- oder Verdichterlaufrädern;
- entlang von Schnittebenen; dies ist eine einfach zu handhabende, zu guten Ergebnissen führende Bearbeitungsdefinition und wird im Werkzeug- und Formenbau sowohl für drei- als auch für fünfschneidige Bearbeitungen genutzt;
- entlang von Führungsflächen; die Bearbeitungsdefinition erfolgt hierbei über die Isoparameterlinien einer sog. Führungsfläche. Aufgrund der somit größeren Variationsmöglichkeiten hat diese Art der Bearbeitungsdefinition vielfach die zuvor genannte Variante „entlang von Schnittebenen“ abgelöst;
- entlang einer Führungskurve; diese Variante wird häufig für direkt gestalterzeugende Bearbeitungen, wie z.B. dreiaxsiges Fräsen von Ziehsicken oder dreiaxsiges Umfangsfräsen von Schneidwerkzeugen (Schneidkanten), eingesetzt.

Abb. 3.8 zeigt zudem ein Klassenmodell, das vorhandene Assoziationen und Vererbungsbeziehungen zwischen den obengenannten Bearbeitungsdefinitionen aufzeigt. Definitionen entlang von Schnittebenen, Isoparameterlinien und Führungsflächen können durch Leitflächen generalisiert werden, Führungskurven durch sog. Leitkurven. Um eine einheitliche Berechnungsvorschrift zur Erzeugung von Werkzeugbahnen realisie-

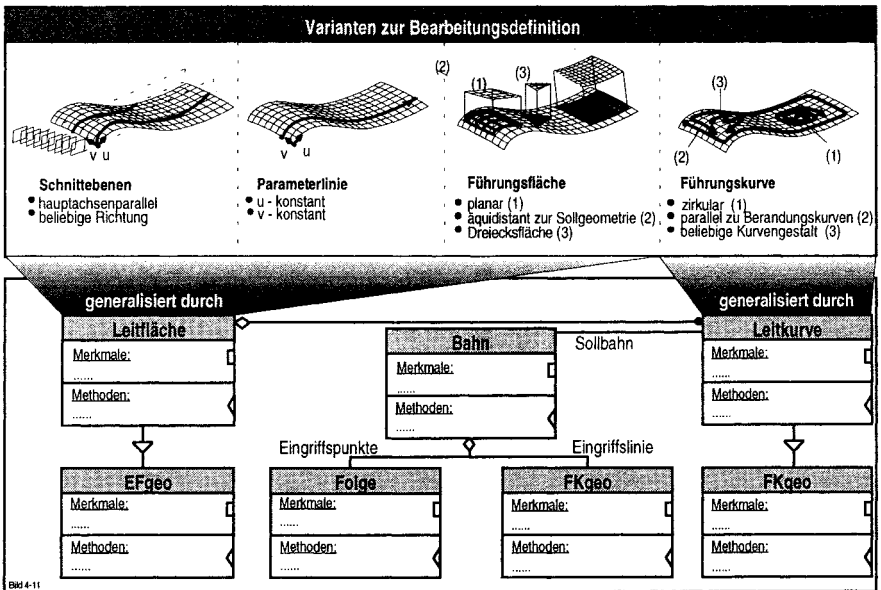


Abb. 3.8: Varianten zur Bearbeitungsdefinition und Umsetzung in Klassenstrukturen

ren zu können, werden die Leitflächen in einzelne Leitkurven zerlegt. Ein einmaliges Bereitstellen der nachfolgend aufgeführten Methoden stellt die Ausgangsbasis dar, um beliebige Vorgaben von Führungskurven und damit beliebige Bearbeitungsdefinitionen umsetzen zu können:

- Linearisieren der Leitkurve zur Erzeugung diskreter Leitpunkte.
- Projektion jeweils eines diskreten Leitpunktes auf den Bearbeitungsbereich (ergibt einen Punkt auf einer Einzelfläche der Werkstücksollgeometrie; dies entspricht dem Eingriffspunkt).
- Überprüfen der Krümmungsänderung im Vergleich zum vorigen Punkt. Diese Methode stellt eine krümmungsabhängige Linearisierung dar und erfordert ggf. eine Korrektur des Eingriffspunktes.
- Rückprojektion des ermittelten Eingriffspunktes auf die Leitfläche. Der somit ermittelte Punkt entspricht der Ausgangsbasis für den nächsten Linearisierungsschritt.

Durch diese einheitliche Berechnungsvorschrift eröffnet sich die Möglichkeit, für häufig vorkommende Werkstückgeometriebereiche speziell optimierte Bearbeitungsdefinitionen in einfacher Weise zu entwickeln, zu implementieren und auszutesten. Dieser Ansatz, einschließlich den damit verbundenen Anstellberechnungen und Kollisionsbetrachtungen, wird im weiteren Verlauf nicht vertieft.

3.2.2 Verwalten unterschiedlicher Zustandsformen der Bearbeitungsablaufbeschreibung

Zur Realisierung maschinennaher Modifikationsfunktionen sind, wie die Abbildungen 2.1 und 2.2 zeigen, neben den aufgeführten technischen häufig auch strukturierende Informationen (Kennungen für einzelne Werkzeugbahnen und Werkzeugbahnsegmente, deren Bezug zur Werkstücksollgeometrie usw.) notwendig. Diese Informationen lassen sich durch einen objektorientierten Softwareentwurf, unterstützt durch eine konsequente Klassifikation, einfach strukturieren. Am Beispiel der Werkzeugbahn (Klasse B_Zyklus) soll dies verdeutlicht werden.

3.2.2.1 Bearbeitungszyklus (Werkzeugbahn)

Nachfolgend stellt der Begriff Bearbeitungszyklus ein Synonym für Werkzeugbahn dar. Im Hinblick auf die Erweiterbarkeit des Klassenmodells werden die gängigen Bearbeitungszyklen zur drei- und fünfsichtigen Freiformflächenbearbeitung in den Klassen B_Zyk_UniDir und B_Zyk_BiDir definiert und von einem abstrakten Bearbeitungszyklus (Klasse B_Zyklus) abgeleitet. Abbildung 3.9 zeigt, daß Taschenfräszyklen (Klasse B_Zyk_Tasche) oder Bohrzyklen (Klasse B_Zyk_Bohr) ebenfalls als Spezialisierungen von B_Zyklus in das Klassenmodell aufgenommen werden können. Die Klasse B_Zyklus gewährleistet dadurch eine Erweiterbarkeit der Systemarchitektur.

Das Bearbeiten von Freiformflächen wird vielfach durch einen zyklischen Ablauf der Werkzeugbahnen beschrieben. Bearbeitungen mit Aufmaß zur Werkstücksollgeometrie laufen oftmals bidirektional ab, d.h. mit einem ständigen Wechsel der Bearbeitungsrichtung und somit des Gegen- und Gleichlaufs. Für abschließende Schlichtvorgänge (ohne Aufmaß zur Werkstücksollgeometrie) ist aus technologischen Gründen der Gleichlauf zu bevorzugen (Bieker 1991).

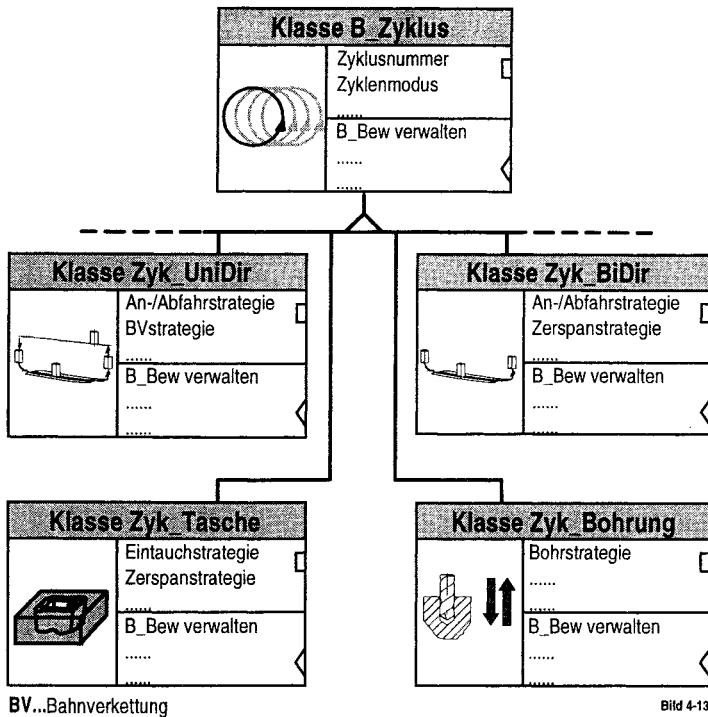


Abb. 3.9: Bearbeitungszyklen

Die Klasse **B_Zyklus** muß neben dem Umschalten von uni- und bidirektionaler Bearbeitung auch Methoden zur Verfügung stellen, um die Bearbeitungsrichtung und die Fortschreiterichtung umdefinieren zu können (Abb. 3.10). Dies wird u.a. für den Vorgang des Spiegelns von dreiachsigen Bearbeitungsvorgängen auf symmetrischen Werkstücken wie Motorhaube oder spiegelverkehrte Werkstücke wie Türen angewandt.

Erfolgt der Spiegelungsvorgang auf der Basis einer bestehenden Bearbeitungsablaufbeschreibung, hat dies einen Wechsel von Gleich- in Gegenlauf (oder umgekehrt) zur Folge. Durch ein einfaches Umdefinieren z.B. der Fortschreiterichtung - und damit ein Bearbeiten, angefangen bei der ursprünglich letzten Bahn bis hin zur vormals ersten Bahn - kann dieser Nachteil behoben werden.

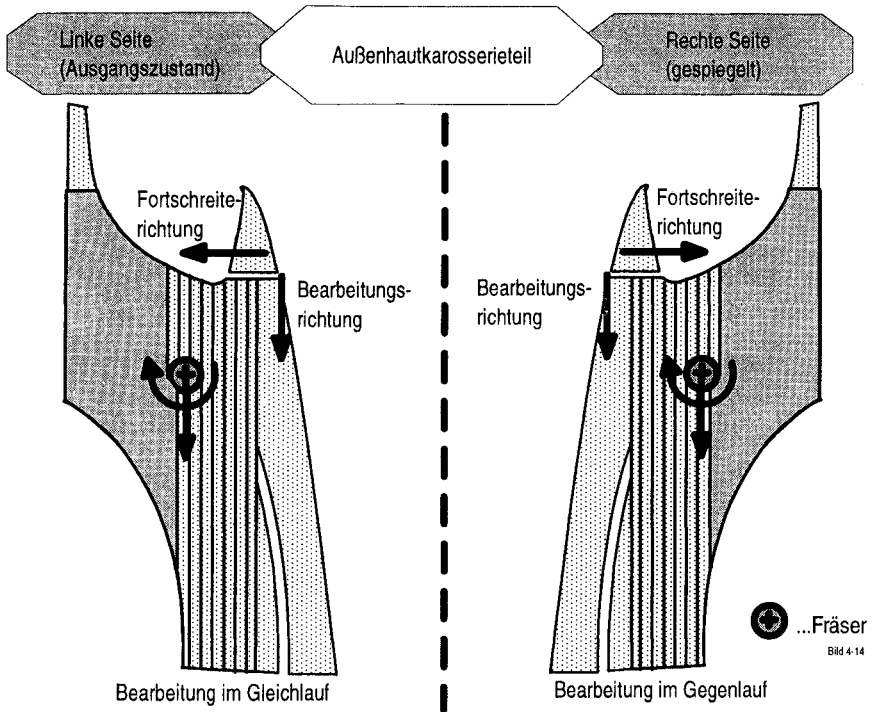


Abb. 3.10: Notwendigkeit der Bearbeitungsrichtungs- bzw. Fortschreiterichtsänderung am Beispiel des Spiegels von Bearbeitungsvorgängen

Ein einzelner Bearbeitungszyklus (B_Zyklus) besteht aus unterschiedlichen Werkzeugbahnsegmenten, ausgedrückt durch Anfahr-, Zerspan-, Abfahr- und Bahnverkettungsstrategie. Diese Werkzeugbahnsegmente repräsentieren eine abschnittsweise Beschreibung der Bearbeitungsbewegung. Die Erweiterung der Klassenstruktur um diese Segmente erfolgt im nächsten Abschnitt.

Die unidirektionale Bearbeitung wird durch eine Anfahr-, eine Zerspan-, eine Abfahr- und eine Bahnverkettungsstrategie mit Rücklaufbewegung (Abb. 3.11) beschrieben. Bei bidirektionaler Bearbeitung enthält der Bearbeitungszyklus keine Rücklaufbewegung, die Werkzeugbahnen werden direkt verknüpft. Erfolgt das direkte Verknüpfen ohne Abheben und anschließendem Wiederaufahren, entfallen die zugehörigen Abfahr- und Anfahrinstanzen für den zweiten bis vorletzten Zyklus (Abb. 3.12).

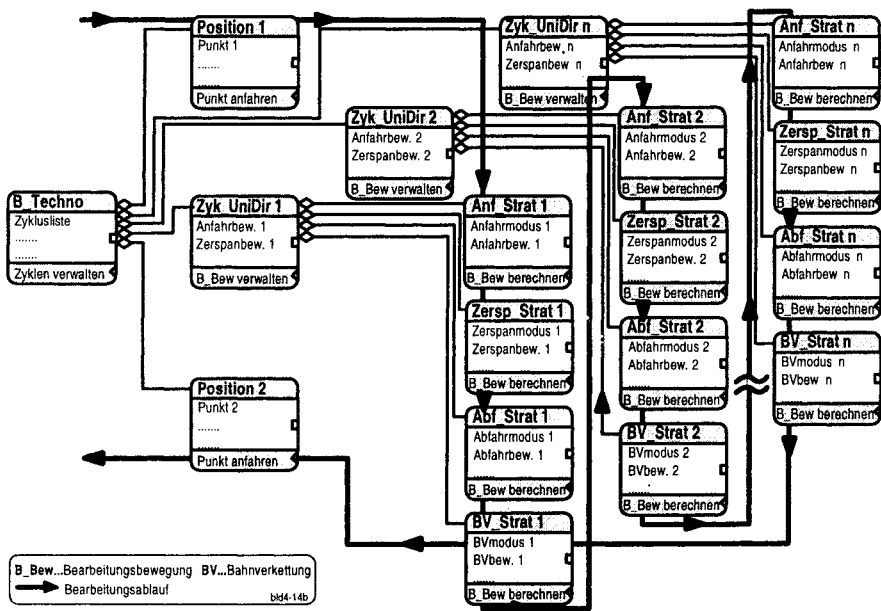


Abb. 3.11: Instanzenbeispiel für unidirektionale Bearbeitung

Die Gliederung in Bearbeitungszyklen ermöglicht eine übersichtliche Strukturierung des Bearbeitungsablaufs. Jeder Zyklus ist für sich optimierbar, kann direkt aufgerufen und mit Parameterwerten belegt bzw. modifiziert werden. Ein komplettes Neuberechnen aller anderen nicht modifizierten Zyklen ist nicht notwendig. Somit wird eine wesentliche Voraussetzung für werkstattnahes Modifizieren und Optimieren erfüllt.

3.2.2.2 Werkzeugbahnsegmente

Ein Bearbeitungszyklus besteht aus einer Kombination von Werkzeugbahnsegmenten (Anfahr-, Zerspan-, Abfahr- und Bahnverketzungsstrategien). Diese unterschiedlichen Strategien besitzen eigene Charakteristika, aber auch gemeinsame Attribute und Methoden. Deshalb bietet es sich an, diese Gemeinsamkeiten herauszuabstrahieren und in einer abstrakten (Ober-)Klasse Bearbeitungsbewegung (Klasse B_Bew) zu implementieren (Abb. 3.13).

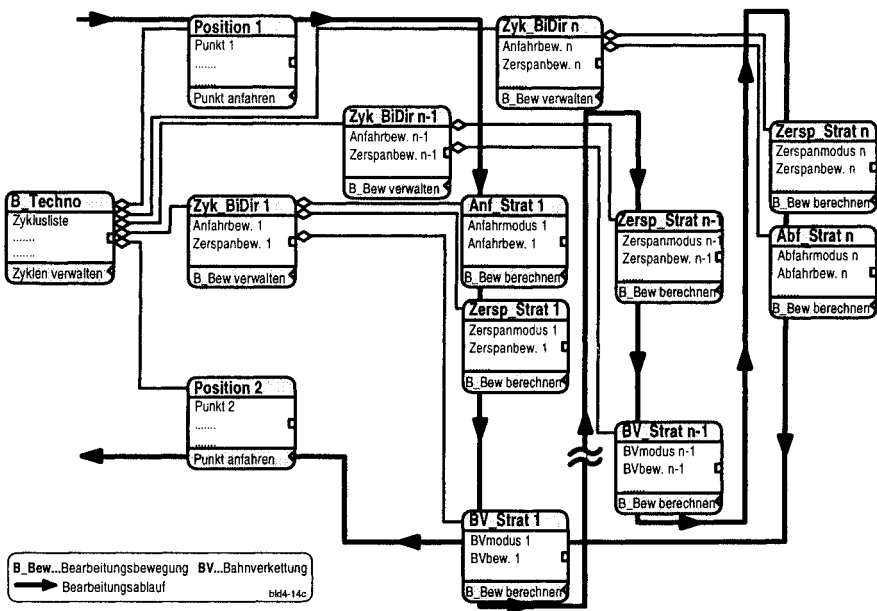


Abb. 3.12: Instanzenbeispiel für bidirektionale Bearbeitung

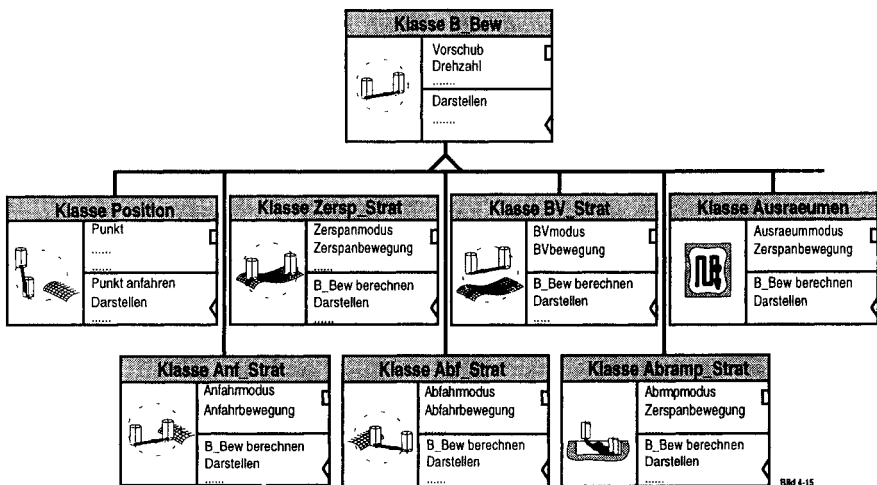


Abb. 3.13: Generalisierung von Bearbeitungsbewegungen (B_Bew)

Der Wiederverwendungswert der Klasse B_Bew ist somit nicht eingeschränkt und für Erweiterungen offen. So können z.B. Abrampbewegungen (Klasse B_Bew_Abrmp) zum Eintauchen bei Taschenfräszyklen ebenfalls aus der Klasse B_Bew abgeleitet werden.

Aufgrund der Vorteile der feinkörnigen Vererbung (Ellis, Carroll 1994, S. 52) bietet es sich an, die von der (Ober-)Klasse B_Bew abgeleiteten (Unter-)Klassen Anf_Strat, ..., BV_Strat wiederum als übergeordnete Klassen für die jeweils spezifischen Strategien zu modellieren. Am Beispiel der Anfahrstrategie wird dies nachfolgend erläutert.

Anfahrstrategie: Die Annäherungsphase des Werkzeugs an das Werkstück bis zum Eintauchen wird durch die Anfahrstrategien beschrieben. Um vor allem den Werkzeugverschleiß zu minimieren, erfolgt die Anfahrbewegung einschließlich Eintauchvorgang mit vermindertem Vorschub.

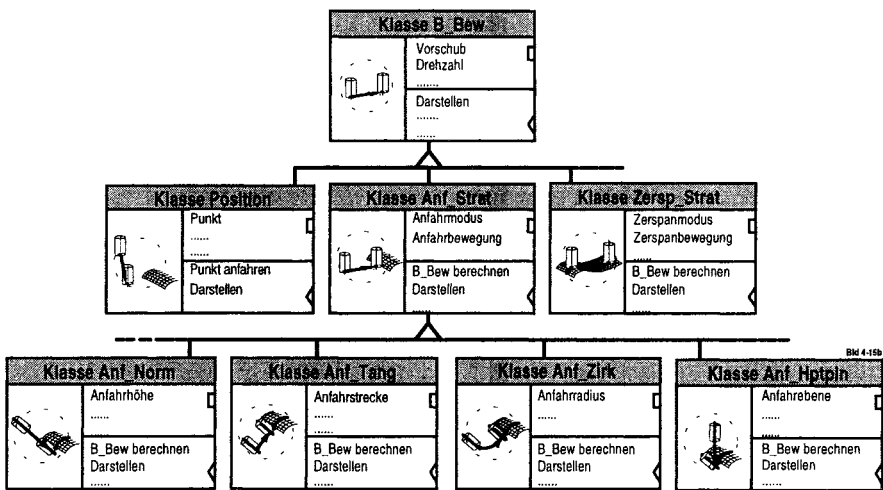


Abb. 3.14: Spezialisierungen der Anfahrstrategien

Die Anfahrstrategie kann in verschiedenen Modi durchgeführt werden (Abb. 3.14). Als Anfahrmodi sind zunächst tangentiales Anfahren (Klasse Anf_Tang), Anfahren in Normalenrichtung (Klasse Anf_Norm) und zirkuläres Anfahren (Klasse Anf_Zirk) vorgesehen. Die gute Erweiterbarkeit des Klassenmodells erlaubt problemlos die Implementierung wei-

terer Anfahrstrategien, wie z.B. Anfahren entlang einer Punktfolge (Klasse Anf_Pktfolg) oder Anfahren parallel zur Hauptachsenrichtung (Klasse Anf_Htpl).

3.2.3 Ausgabe unterschiedlicher Zustandsformen der Bearbeitungsablaufbeschreibung

Die Bearbeitungsablaufbeschreibung kann durch verschiedene Zustandsformen ausgedrückt werden. Zustandsformen sind Bearbeitungsobjekte, Quellsätze, CLDATA-Sätze und NC-Steuerdaten. In konventionellen NC-Programmiersystemen liegen diese Zustandsformen getrennt vor (Storr 1995). Die Datenwandlung erfolgt über Verarbeitungsprogramme (Processor, Postprocessor).

In der vorliegenden Systemarchitektur wird die Bearbeitungsablaufbeschreibung durch das Bearbeitungsmodell bzw. Bearbeitungsteilmodell und die darin enthaltenen Bearbeitungsobjekte ausgedrückt.

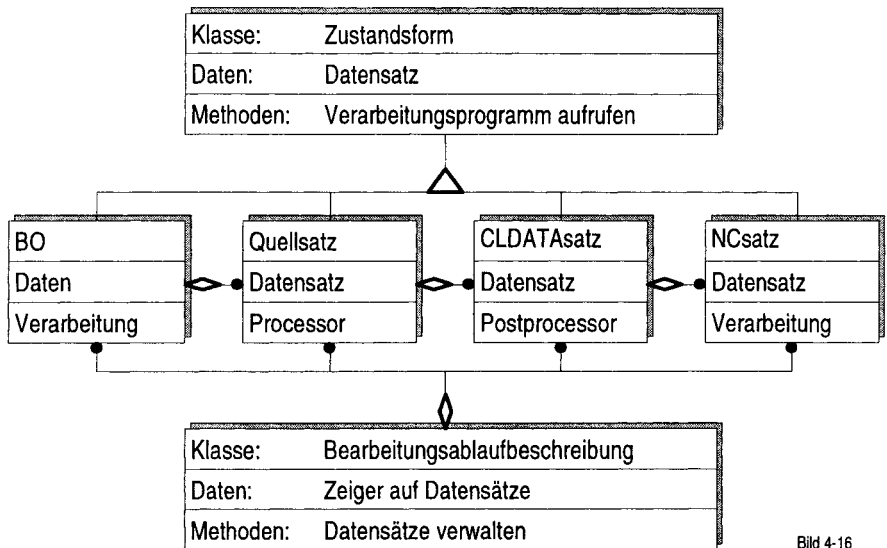


Bild 4-16

Abb. 3.15: Bearbeitungsablaufbeschreibung durch untereinander verknüpfte Zustandsformen (nach Storr, Hofmeister 1994)

Durch den objektorientierten Softwareentwurf ist es möglich, die einzelnen Zustandsformen eng miteinander zu verknüpfen (Abb. 3.15). Zur Umwandlung einer Zustandsform in eine andere wird das zugehörige Verarbeitungsprogramm über eine Methode aufgerufen, die Elementfunktion der zu verarbeitenden Sprachform ist. Zwischen Ausgangsform und Ergebnis bestehen Assoziationen, die eine enge Verknüpfung zwischen den Sprachformen ermöglichen. Werden im weiteren Verlauf z.B. Datensätze in einem Bearbeitungsobjekt geändert, können in den zugehörigen Steuerdaten gezielt Korrekturen vorgenommen werden. Ein erneuter, oft Stunden dauernder Durchlauf der Verarbeitungsprogramme für alle, auch die nicht modifizierten Teile des Bearbeitungsteilmodells ist somit nicht mehr notwendig. Dieser Vorgang wird durch ein lokales Neuberechnen ausschließlich der modifizierten Teile ersetzt und führt zu einer Reduktion der Durchlaufzeit zur Erstellung eines neuen Steuerprogramms. Ein derartig zeiteffizientes Modifizieren von Steuerprogrammen ist die Grundvoraussetzung, um durch die erzielbaren Zeit- und damit Kostenvorteile eine Anwendung in der Praxis sicherzustellen.

Durch den objektorientierten Softwareentwurf ist es möglich, eine Verknüpfung zwischen der Werkstücksollgeometrie (Klasse EFgeo), der Bearbeitungsablaufbeschreibung auf der Basis von Quellsätzen sowie dem resultierenden CLDATA- und NC-Satz herzustellen (Abb. 3.16). Die zugehörigen Klassen (Klasse Quellsatz, Klasse CLDATAsatz, Klasse NCsatz) verwalten über die Klasse BAW (Bearbeitungsanweisung) sowohl technologische (Vorschub, Spindeldrehzahl, ...) als auch geometrische (Verfahrweg, ...) Bearbeitungsinformationen. Die geometrische Ausprägung der Bearbeitungsinformationen (Klasse Geo_Ausprg) beinhaltet

- bei Referenzierung durch die Klasse Quellsatz die Eingriffspunkte und Flächennormalenvektoren,
- bei Referenzierung durch die Klasse CLDATAsatz die Werkzeugverfahrwege einschließlich Werkzeugorientierung im Werkstückkoordinatensystem und
- bei Referenzierung durch die Klasse NCsatz die Maschinenverfahrwege (Werkzeugverfahrwege einschließlich Werkzeugorientierung im Maschinenkoordinatensystem).

Die genannten geometrischen Ausprägungen der Bearbeitungsinformationen werden als diskrete Punkte bzw. Vektoren durch die Klasse PV3D

(Punkt-Vektor in Raumkoordinaten) abgebildet. In geschlossener Form (z.B. als Spline) kann dies auch durch eine entsprechende, ein Splineformat repräsentierende Klasse wie z.B. KVgeo erfolgen.

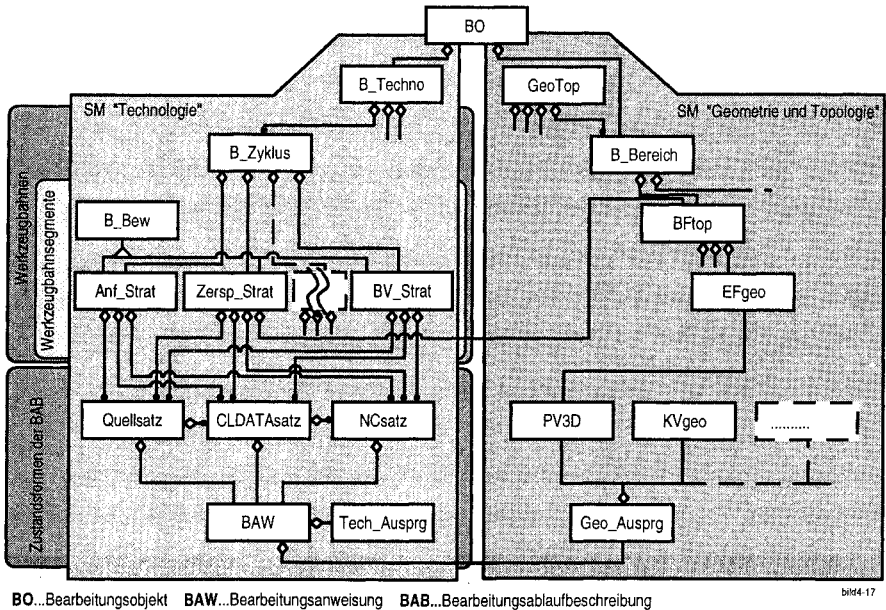


Abb. 3.16: Gesamtstruktur zur Bearbeitungsablaufbeschreibung in unterschiedlichen Zustandsformen

Die zur Umsetzung (von einer Zustandsform in eine andere) notwendigen Verarbeitungsprogramme sind als Methoden in den jeweiligen Klassen zur Beschreibung der Werkzeugbahnsegmente (Klasse B_Bew und davon abgeleitete (Unter-)Klassen Anf_Strat, Zersp_Strat, ...) enthalten.

4. Realisierungen

Das in Abbildung 4.1 dargestellte Szenario entspricht den bislang umgesetzten Pilotanwendungen. Sowohl für den OSACA-Demonstrator (dreiaxige Fräsmaschine zu Schulungszwecken) mit dem Prototyp einer durchgängigen offenen Steuerung als auch für eine andronic400- und Sinumerik 840D-Steuerung an fünfachsigigen Fräsmaschinen (Maho, Herm-

le) wurde das objektorientierte Bearbeitungsmodell als erweiterte NC-Schnittstelle implementiert. Über den realisierten BTM-Editor mit einer werkergerechten Benutzungsoberfläche stehen dem Anwender zahlreiche Modifikationsfunktionen zur Verfügung. Erste durchgängige Anwendungen in bestehenden Verfahrensketten (vom CAD/CAM-System bis hin zur Steuerung) im Bereich der 3- und 3+2-achsigen (dreiaxsig mit zwei rotatorischen Stellachsen) Fräsbearbeitung laufen derzeit in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Betrieben des Automobil- sowie des Werkzeug- und Formenbaus.

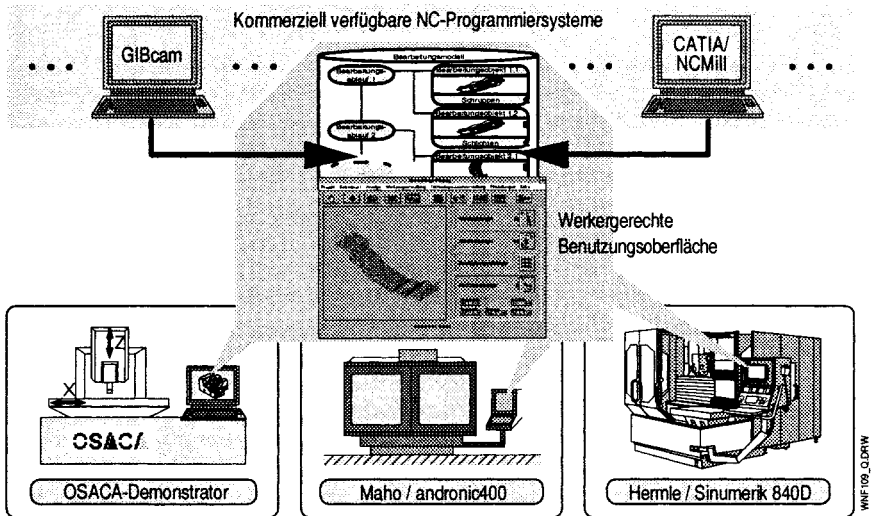


Abb. 4.1: Einbindung des objektorientierten Bearbeitungsmodells in bestehende Verfahrensketten

Literatur

- Bieker, R.: CAM-gerechte Technologie für die NC-Fräsbearbeitung von Stahlhohlformen, Düsseldorf 1991.
- Ellis, M.; Carroll, M.: Vorteile und Nachteile feinkörniger Vererbung. In: OBJEKTSpektrum, Heft 1, 1994, S. 52-54.

- Gierschick, R.: Typische Probleme bei Freiformflächenbearbeitungen. In: Institut für Arbeitsingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden (Hrsg.): Vortragsband des 1. Workshops zum Verbundprojekt „Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung“ am 15. März 1995 in Dresden, Dresden 1995, S. 5-13.
- Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; Eddy, F.; Lorensen, W.: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, München/Wien 1993.
- Stein, W.: Objektorientierte Analysemethoden - Vergleich, Bewertung, Auswahl, Mannheim 1994.
- Storr, A.: CAD-, CAD/CAM-Automatisierung des technischen Informationsflusses I, Vorlesungsmanuskript, Universität Stuttgart (WS), Stuttgart 1995/1996.
- Storr, A.; Hofmeister, W.: Einsatz objektorientierter Strukturen zur Programmierung von NC-Mehrschlittendrehmaschinen. In: wt-Produktion und Management, Nr. 84, 1994, S. 26-30.
- Storr, A.; Itterheim, C.: Werkstattgerechte NC-Programmierung von Freiformflächenbearbeitungen. In: VDI-Z, Nr. 9, 136. Jg., 1994, S. 72-75.
- Storr, A.; Itterheim, C.; Kempf, W.: Werkstattgerechte Nutzerunterstützung für die Freiformflächenbearbeitung. In: D. Kochan (Hrsg.): Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung, VDI-Fortschritt-Bericht Nr. 285, Reihe 2: Fertigungstechnik, Düsseldorf 1993, S. 22-34.
- Storr, A.; Itterheim, C.; Ströhle, H.: NC-Verfahrenskette für werkstattgerechte Nutzerunterstützung von Freiformflächenbearbeitungen. In: Institut für Arbeitsingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden (Hrsg.): Vortragsband des 1. Workshops zum Verbundprojekt „Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung“ am 15. März 1995 in Dresden, Dresden 1995, S. 29-49.
- Zirbs, J.: Fertigungsgerechte Aufbereitung von Flächenverbänden bei der NC-Programmierung im Formenbau, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1989.

Objektorientierung in der NC-Fertigung

1. Ausgangssituation
2. Problemstellung
3. Lösungsansatz und Konzept
4. Realisierung

1. Ausgangssituation

Vor dem Hintergrund der Sicherung des Produktionsstandortes Deutschland wird in Zukunft die Wettbewerbsfähigkeit in hohem Maße von der Verfügbarkeit leistungsfähiger und auf den jeweiligen Einsatzfall optimal abgestimmter DV-Systeme abhängen. Um die Wertschöpfungsketten kontinuierlich zu verbessern, muß der Produktionsfaktor Information für alle am Prozeß beteiligten Unternehmensfunktionen transparent, bidirektional und effizient nutzbar gemacht werden.

Überträgt man diese allgemeine Forderung auf den Bereich der spanenden Fertigung, so wird deutlich, daß die heutige Wertschöpfungskette „Konstruktion \Rightarrow NC-Planung \Rightarrow NC-Programmierung \Rightarrow NC-Fertigung“ DV-technisch nicht durchgängig und vor allem nicht bidirektional ausgerichtet ist. Eine Vielzahl verschiedener Schnittstellen hemmt den Informationsfluß.

Gerade in der zunehmenden Einzel- und Kleinserienproduktion nimmt der Zeitanteil der Informationstransformation entlang der NC-Verfahrenskette (insbesondere das Einfahren von NC-Programmen und die Rückführung geänderter bzw. optimierter NC-Daten) einen immer größeren Anteil der Durchlaufzeit ein. In Abbildung 1 ist die NC-Verfahrenskette mit wichtigen Problempunkten dargestellt.

In diesem Kontext stellt gerade der unidirektionale Informationsfluß in Verbindung mit einer Vielzahl von organisatorischen (Konstruktion-Arbeitsplanung, Arbeitsplanung-Fertigung) und technischen Schnittstellen (IGES, CLDATA, DIN-Code gemäß 66025 etc.) den entscheidenden Ansatzpunkt dar.

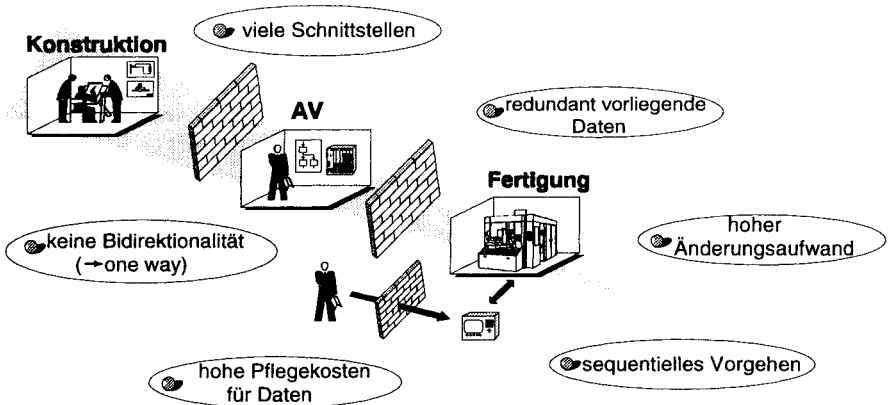


Abb. 1: Defizite der NC-Verfahrenskette

2. Problemstellung

In der Vorbereitung für das Verbundprojekt „Handlungsorientierte Lösungen für Werkzeugmaschinensteuerungen zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter und gruppenfähiger Facharbeit“ (*WesUF*) wurde 1994 eine Studie zur Analyse der NC-Verfahrenskette durchgeführt, um die Defizite detailliert aufzuzeigen (Fechter u.a. 1994). Die Studie wurde in 30 Fertigungsstätten mit überwiegend spanender Fertigung durchgeführt. In Abbildung 2 und 3 sind die wesentlichen Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Anforderungen an die NC-Verfahrenskette nach den Bereichen NC-Programmierung und Einfahren/Fertigen dargestellt.

Besonders auffallend ist, daß zwar der Anteil an NC-Maschinen mit 50 % relativ hoch ist und nahezu 70 % aller Zeichnungen mittels CAD-Systemen hergestellt werden, aber nur etwa 10 % der Geometriedaten zur NC-Programmierung übernommen werden. Durch die aufwendige Einfahrprozedur von NC-Programmen und den Trend zu immer kleineren Losgrößen ist die Einfahrzeit auf bis zu 20 % der Maschinenlaufzeit angestiegen. Bei Maschinenausfällen werden nur ca. 5 % der NC-Programme auf andere Maschinen umgeplant, da der Umplanungsaufwand bei notwendigem Maschinen- bzw. NC-Steuerungswechsel so immens ist, daß Auftragsliegezeiten von bis zu drei Tagen akzeptiert werden.

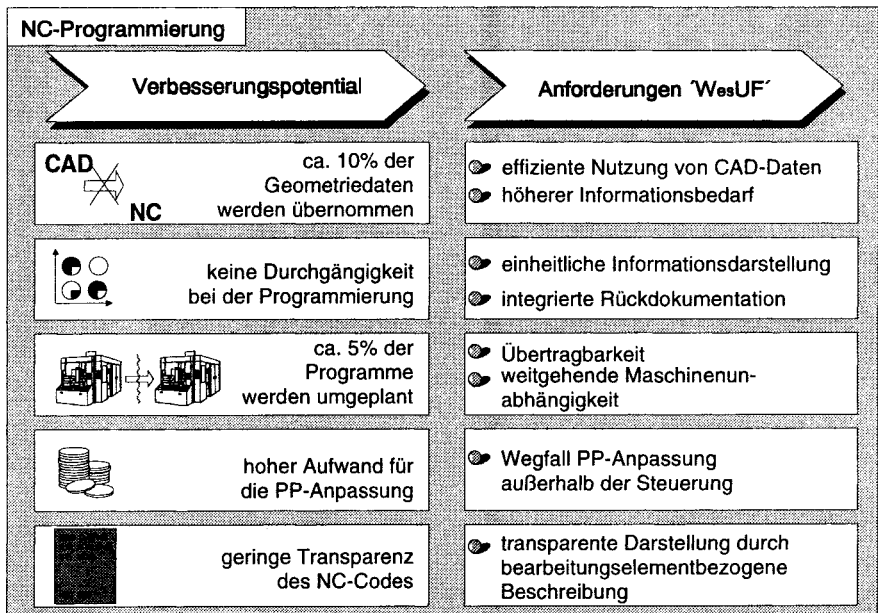


Abb. 2: Defizite der NC-Verfahrenskette I

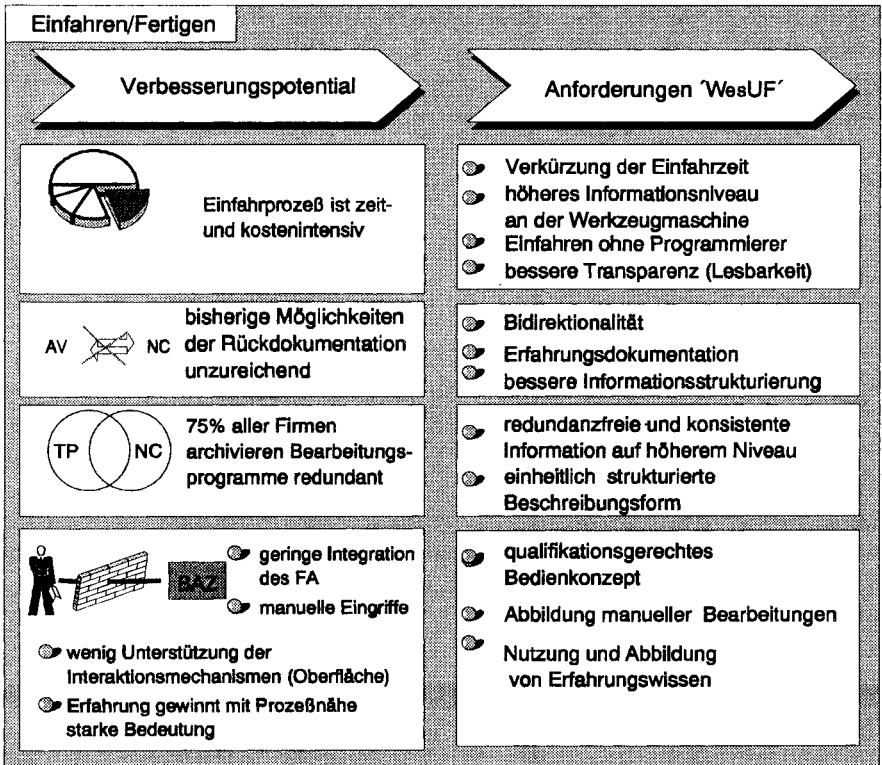


Abb. 3: Defizite der NC-Verfahrenskette II

3. Lösungsansatz und Konzept

3.1 Objektorientierung in der NC-Fertigung

Zur Lösung und Umsetzung der erarbeiteten Anforderungen bieten die technologischen Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Informationstechnik neue Möglichkeiten, Problembereiche der NC-Verfahrenskette zu lösen. Zwei Entwicklungstendenzen sind hierbei besonders hervorzuheben:

- die gestiegene Leistungsfähigkeit der Rechnerhardware und die damit verbundene Möglichkeit, große Datenmengen direkt dezentral an der spezifischen Automatisierungseinrichtung bereitzustellen und zu verarbeiten sowie
- softwareseitig der Ansatz der Objektorientierung, welcher als der effizienteste Ansatz zur Strukturierung und Realisierung von DV-technischen Anwendungen derzeit gilt.

Objektorientierung kann im informationstechnischen Sinne als Strukturierung von Daten in Form abgeschlossener Einheiten, den sog. Objektklassen, verstanden werden, auf welche im weiteren Verlauf Methoden zur Manipulation und Veränderung dieser Objektklassen angewendet werden.

Eine Objektklasse ist dabei immer als begriffliche Zusammenfassung einzelner Objekte zu betrachten. Hierfür gilt nach Martin (1992, S. 16 f.):

- Eine Objektklasse ist eine Anordnung von Objekten und,
- ein Objekt ist eine Instanz einer Objektklasse.

Einige Beispiele für Objektklassen und Objekte sind in Abbildung 4 dargestellt.

Beziehungen zwischen Objektklassen werden in Form sog. Assoziationen beschrieben.

In Anlehnung an Meyer (1990) wird unter dem Begriff der objektorientierten Softwarekonzeption diejenige Methode verstanden, die zu Softwarearchitekturen führt, die auf den von jedem System oder Teilsystem bearbeiteten Objekten beruhen (und nicht auf „der“ Funktion, die das Teilsystem realisiert). Einfacher ausgedrückt läßt sich das wesentliche Charakteristikum des objektorientierten Entwurfs wie folgt darstellen:

„Frag nicht zuerst, was das System tut, frage *woran* es etwas tut!“ (Meyer 1990)

Die objektorientierte Systemkonzeption stützt sich dabei auf Konstrukte wie Vererbung, Mehrfachvererbung, Aggregation, Generalisierung und Spezialisierung, Kapselung etc.

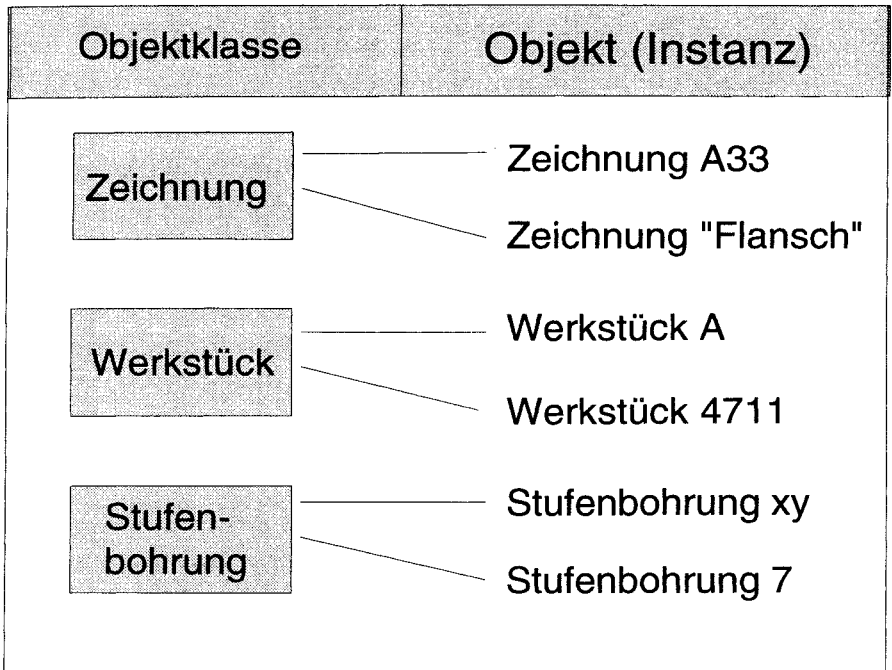


Abb. 4: Objektklassen und deren Instanzen

Unter Vererbung ist in diesen Zusammenhang die Fähigkeit zu verstehen, eine Objektklasse als Einschränkung oder Erweiterung einer anderen zu definieren (ebd.). Mehrfachvererbung bzw. wiederholtes Erben bedeutet, daß Klassen deklariert werden können, die Erben von mehr als einer Klasse sind und mehr als einmal von einer Klasse erben. Der Begriff der Kapselung bedeutet, daß auf spezifische Teilstrukturen des betrachteten Systems eindeutig nur über definierte Schnittstellen zugegriffen werden kann.

Überträgt man die Mechanismen und Methoden der Objektorientierung auf die maschinennahe NC-Verfahrenskette, sind neue Lösungsansätze für die obengenannten Defizite möglich. Der Lösungsansatz bietet ein höherwertigeres und besser strukturiertes Informationsniveau zur Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe an. Abbildung 5 zeigt zusammenfassend die methodischen Grundlagen des neuen Ansatzes. Hierbei werden insbesondere die Vorteile der Objektorientierung aus der Informations-

verarbeitungstechnologie mit den Vorteilen der facharbeitergerechten, auf Zerspanvolumen und Werkzeugen basierenden NC-Bearbeitung integriert.

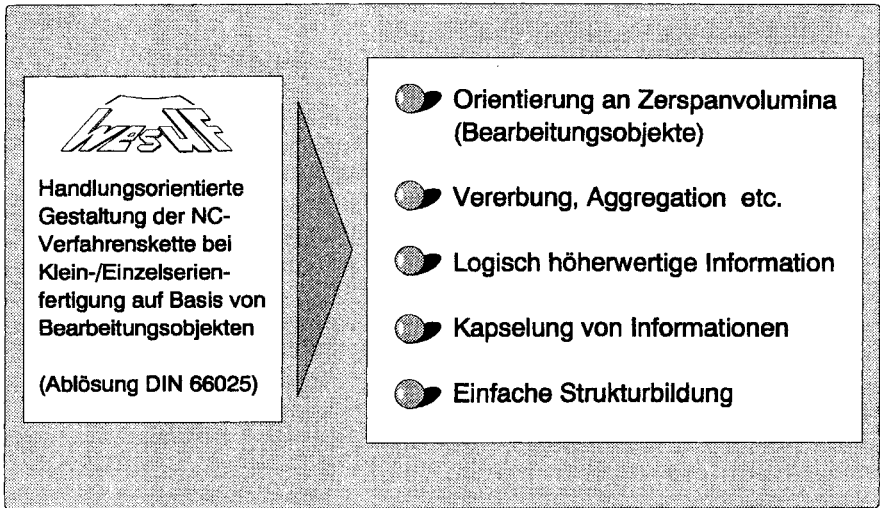


Abb. 5: Objektorientierung in der NC-Fertigung

Durch diesen Ansatz kann das situative Arbeitshandeln direkt an der Maschinensteuerung effizient gefördert und die Eingriffsmöglichkeiten des Facharbeiters durch logisch höherwertigere Informationen unterstützt werden.

3.2 Das bearbeitungsobjektorientierte Beschreibungsmodell

Für den Informationsaustausch werden sog. *Bearbeitungsobjekte und Bearbeitungsschritte* mit einem gegenüber der verfahrenswegorientierten Bearbeitungsbeschreibung nach DIN 66025 erweiterten Informationsgehalt als *neue Methodik zur NC-Bearbeitungsbeschreibung* bzw. Datenhaltung und -beschreibung eingeführt. Abbildung 6 zeigt das Schichtenmodell der NC-Verfahrenskette, welche die Informationstransformation entlang der CAD/CAM-Kette darstellt. Die in Schicht 1 dargestellten Werkstück-, Werkzeug- und Maschinendaten bilden hierbei die Datenbasis (im folgenden als Informationsmodell bezeichnet), die für die NC-gerechte Bearbeitung notwendig ist.

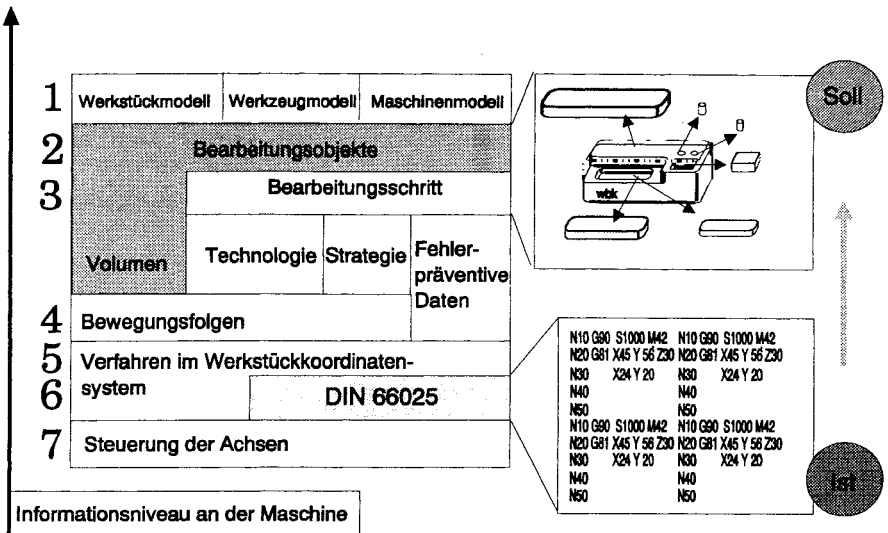


Abb. 6: Schichtenmodell der NC-Verfahrenskette

Die „neuen“ Objekte sind in Abbildung 7 definiert. Hierbei wird im Sinne der Objektorientierung ein zu fertigendes Werkstück (die Arbeitsaufgabe) in sog. Bearbeitungsobjekte spezialisiert und in einem weiteren Schritt in einzelne Bearbeitungsschritte (die eigentliche Verfahrenbewegung) untergliedert.

Durch die Modularisierung der Bearbeitungsbeschreibung kann in Zukunft der Anwender

- *schneller* (da die Bearbeitungsinformation transparent und strukturiert vorliegt),
- *besser* (da die Bearbeitungsdaten bez. der bisherigen DIN 66025 NC-Programmschnittstelle in einer höherwertigeren Form zur Verfügung stehen) und
- *eindeutiger* (da alle Informationen in einer logisch zusammenhängenden standardisierten Datenstruktur vorliegen)

die Bearbeitung beschreiben.

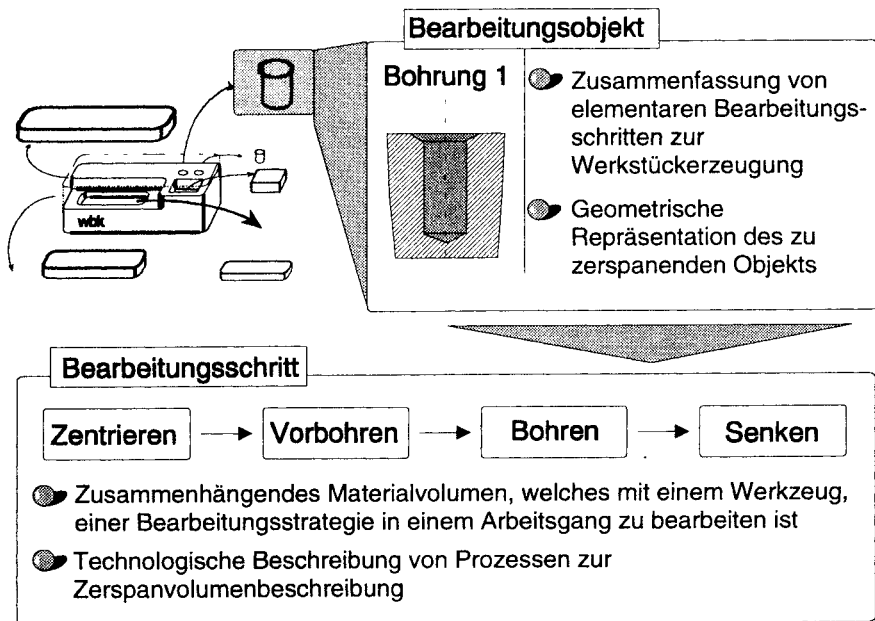


Abb. 7: Definition Bearbeitungsobjekt und Bearbeitungsschritt

Dabei wird das Bauteil durch Zerspanvolumen, d.h. in werkzeugabhängigen Geometriebereichen, beschrieben („es wird beschrieben, was wie weg muß“). Dies entspricht i.d.R. auch der handlungsorientierten Vorgehensweise des Facharbeiters an der Werkzeugmaschine. Facharbeiter „denken“ nach eigenen Angaben in werkzeugabhängigen Zerspanvolumen. Abbildung 8 gibt einen Eindruck der neuen Beschreibungsform an einem Beispielteil, welches zur Verifikation des Prototyps in der zweiten Projekthälfte hergestellt wird.

Dabei stellen das Bearbeitungsobjekt die geometrische Beschreibung und die damit verknüpften Bearbeitungsschritte die technologische Beschreibung des Bearbeitungsablaufes dar. Diese Objekte sind die Grundlage, um an der Steuerung auf übersichtliche, bidirektionale und leicht handhabbare Bearbeitungsbeschreibungen Zugriff zu haben.

Überträgt man diesen Ansatz der bearbeitungsobjektbasierten Informationsstrukturierung auf die gesamte NC-Verfahrenskette, lassen sich

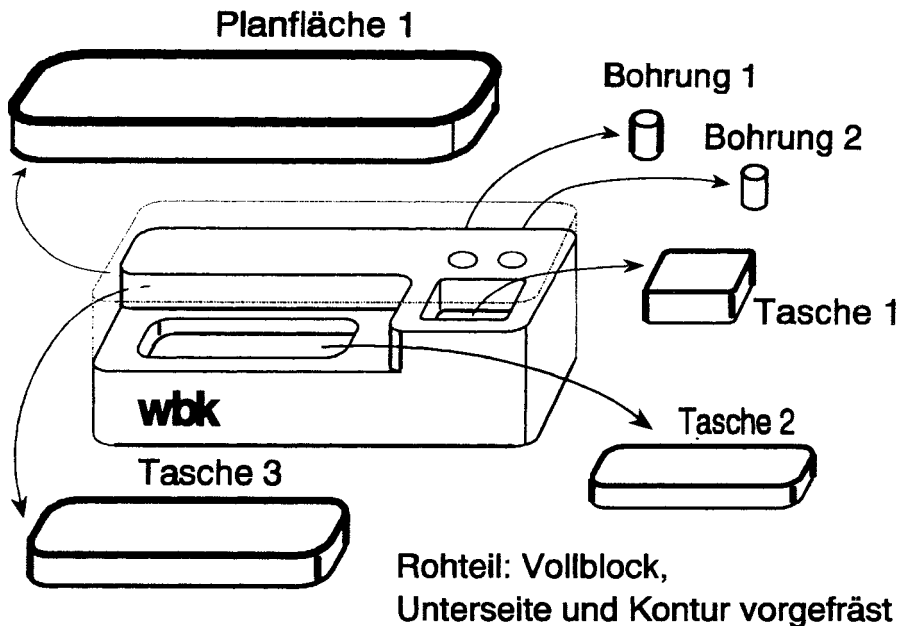


Abb. 8: Neue Beschreibungsform am Beispielteil

auch Anforderungen anderer Funktionsbereiche integrieren. So bietet der Ansatz zukünftig die Möglichkeit, über die Fertigungssicht hinaus die Aspekte der Arbeitsplanung der Konstruktion und Qualitätssicherung zu integrieren. Abbildung 9 zeigt beispielhaft das große Potential des Informationsmodells als Integrationsgrundlage.

Der Hauptnutzen des Ansatzes liegt darin, daß

- Informationen entlang der NC-Verfahrenskette auch *bidirektional* austauschbar sind. Das durch die Erfahrung des Facharbeiters eingebrachte Wissen kann durch das Abbilden auf einem gemeinsamen Datenmodell (Informationsmodell) nun auch direkt vorgelagerten Bereichen zur Verfügung gestellt werden.
- Gemeinsames Arbeiten auf Basis eines Datenmodells schafft darüber hinaus eine konsistente und redundanzfreie Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe.

- Durch die bessere Informationsstrukturierung kann sich der Facharbeiter besser auf die kritischen Arbeitssituationen (z.B. kurzfristige Werkzeugwechsel aufgrund von Werkzeugbruch) konzentrieren und somit die Prozeßbeherrschung entscheidend verbessern.

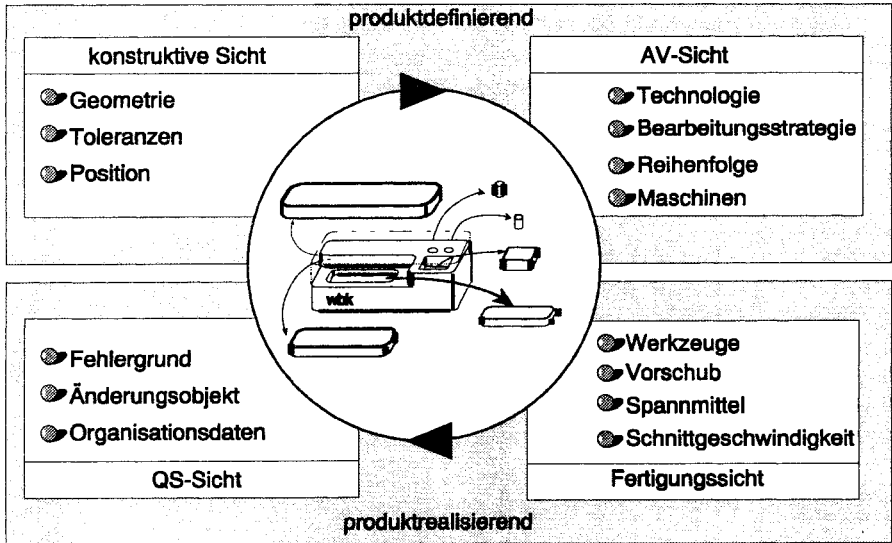


Abb. 9: Bearbeitungsobjekt als Integrationsgrundlage entlang der CAD/CAM-Kette

Zur Verifizierung des neuen Ansatzes wurde die prismatische Bohr- und Fräsbearbeitung ausgewählt, da 95 % aller Bearbeitungsstellen bei der Klein- und Einzelfertigung Bohr- bzw. Fräsoptionen bedingen (Schmidt, Walter 1995).

Hierzu wurden Analysen steuerungsspezifischer Zyklen der wichtigsten am Markt etablierten Steuerungs- und Programmiersystemhersteller durchgeführt. Weiterhin fanden Eigenentwicklungen von Endanwendern wie z.B. ABB AG und Mercedes Benz AG Berücksichtigung.

In Abbildung 10 sind die auf den jeweiligen Steuerungen verfügbaren Bearbeitungszyklen nach Fertigungsverfahren strukturiert dargestellt. Ergebnis der Studie ist, daß nahezu alle Hersteller gleiche Bearbeitungs-makros anbieten, jedoch

- der formale Aufbau,
- die spezifische Art und Anzahl der Parameter und
- der Ablauf der Bearbeitungsschritte

zum Teil stark variieren.



Abb. 10: Vergleich der verfügbaren Bearbeitungsmakros

Zur Verdeutlichung der Problemstellung ist in Abbildung 11 die differierende Bohrzyklusbeschreibung zweier Steuerungshersteller beschrieben. Abweichungen existieren zum einen bei der Parametrierung der Bearbeitungsbeschreibung und zum anderen bei der Realisierung der resultierenden Werkzeugbewegung. So wird klar, daß schon die Abbildung einer „einfachen“ Bohrbearbeitung keine Einheitlichkeit besitzt und von jedem Hersteller spezifisch gelöst wird.

Weiterhin fanden beispielhafte Formelementanalysen des Teilespektrums verschiedener Unternehmen (s. Abb. 12) statt (Spath u.a. 1996). Dieses Vorgehen erhöhte die Akzeptanz des bearbeitungsobjektbasierten Ansatzes, indem einerseits Elemente evaluiert wurden, die auch tatsächlich aus fertigungstechnischer Sicht darstellbar sind, und andererseits den Vorstellungen des Facharbeiters entsprechen.

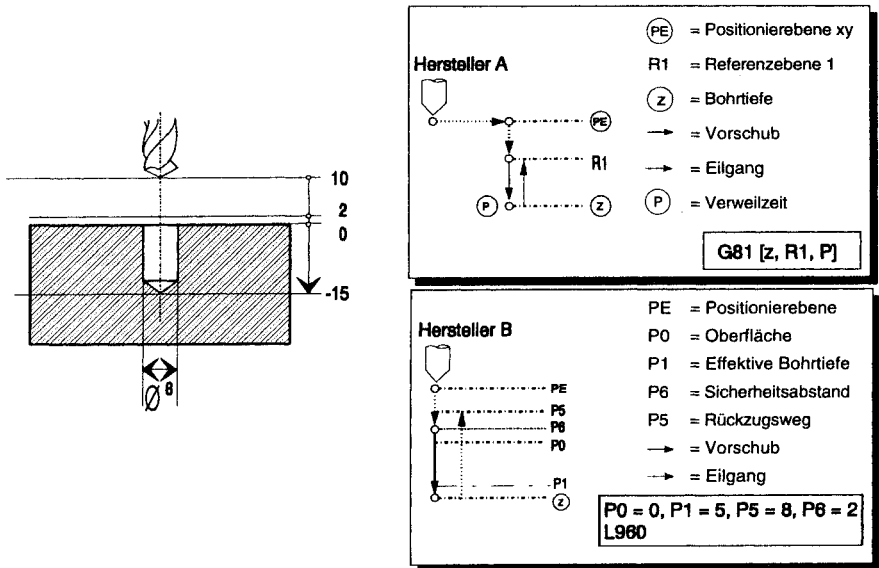


Abb. 11: Unterschiedliche Zyklenbeschreibung selbst für eine „einfache“ Bohrung

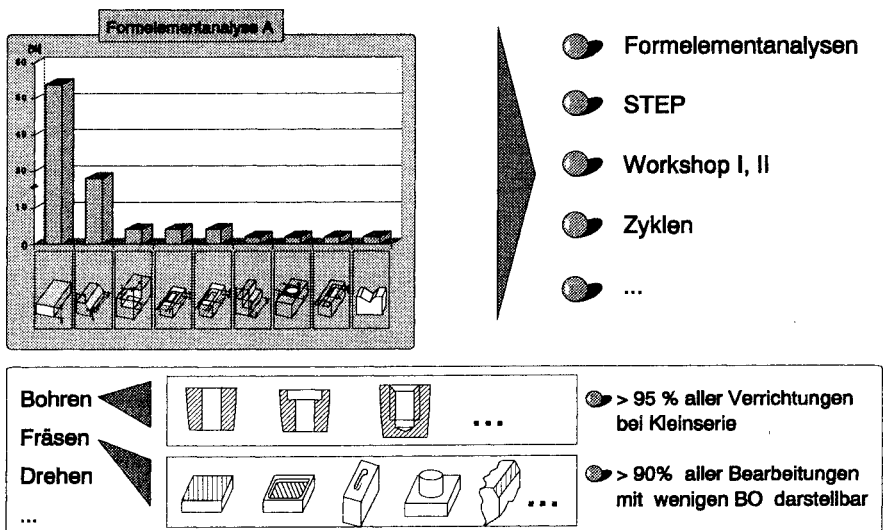


Abb. 12: Ergebnis einer Formelementanalyse (Datengrundlage Bearbeitungsobjekte (in Anlehnung an Spath u.a. 1996))

In mehreren Workshops mit Vertretern der am Verbundprojekt beteiligten Industriefirmen wurden die Analyseergebnisse diskutiert und evaluiert. Durch Auswertung aktueller Normungsaktivitäten, insbesondere der STEP-Aktivitäten sowie der Konstruktionsfeatures moderner 3D-Geometriemodellierer (z.B. Pro-Engineer, Autocad Version 13), wurde die Grundlage des bearbeitungsobjektbasierten Informationsmodells aus konstruktiver Sicht abgeleitet. Dieser Abgleich wurde bezüglich der Integration von Konstruktions- und Fertigungssichten notwendig, da eine Neuformulierung der NC-Schnittstelle nur dann wirksam sein kann, wenn sie durchgängig konstruktive und fertigungsspezifische Anforderungen abdeckt.

Ergebnis der durchgeführten Evaluierung der Bearbeitungsobjekte sind die in den Abbildungen 13 und 14 dargestellten Bearbeitungsobjekte und -schritte (Stand 1/96).

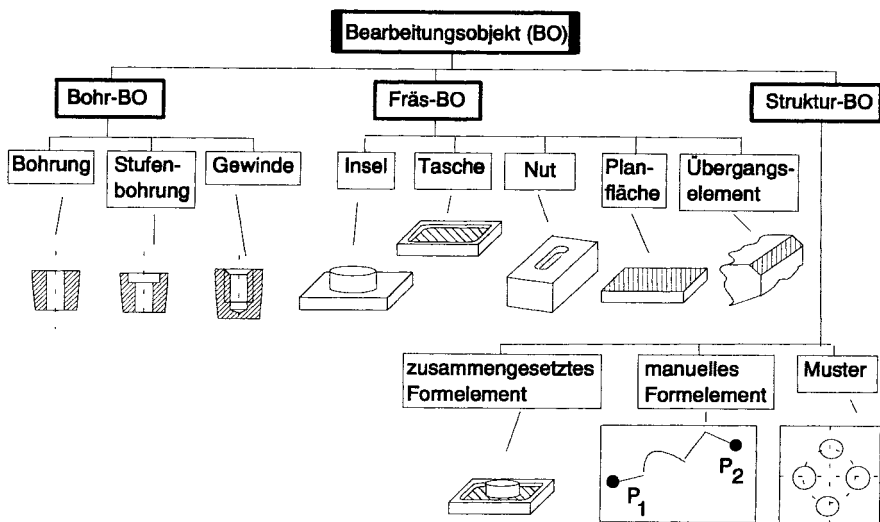


Abb. 13: Übersicht Bearbeitungsobjekte

Basierend auf dem objektorientierten Modellierungsansatz der NC-Bearbeitung können Aufgaben der NC-Programmierung und -bearbeitung besser unterstützt werden. So können kritische Arbeitssituationen wie z.B.

- das schnelle Aneignen und Strukturieren einer komplexen Bearbeitungsaufgabe,
- die kurzfristige Reihenfolge- und Werkzeugumplanung an der Maschine,
- die Sicherung von Erfahrungswissen zur Vermeidung zukünftiger Planungsfehler

vermieden werden.

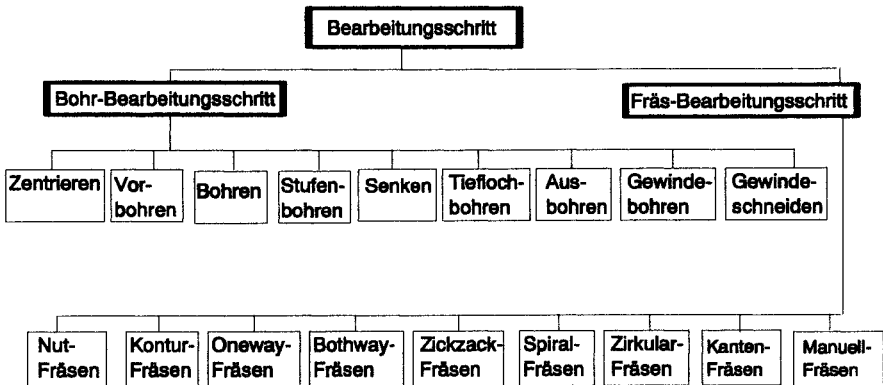


Abb. 14: Übersicht Bearbeitungsschritte

4. Realisierung

Als konkrete Lösung für die oben genannten kritischen Arbeitssituationen wurden folgende Mechanismen konzipiert und prototypisch realisiert:

- nutzergerechte Ein- und Ausgabefunktionen,
- Vorranggraph als Orientierungshilfe der Bearbeitungsbeschreibung,
- Änderungsdienst zur Rückführung von Erfahrungswissen.

Im folgenden wird detailliert auf die realisierten Mechanismen eingegangen.

4.1 Nutzergerechte Ein- und Ausgabefunktionen

Zur Unterstützung des Facharbeiters an der Bearbeitungsmaschine wurde ein auf dem Microsoft-Windows-Standard basierendes Benutzerkonzept realisiert. Einen wesentlichen Grund für die Anlehnung an diesen Standard stellen der große Verbreitungsgrad und die klare Informationsdarstellung dar.

Die logische Abfolge der Informationseingabe und -bereitstellung wird hierbei über eine Folge von Eingabemasken dargestellt, welche sich an der oben getroffenen Differenzierung in geometrisch orientierte Bearbeitungsobjekte und technologisch, d.h. werkzeugabhängige Bearbeitungsschritte anlehnt.

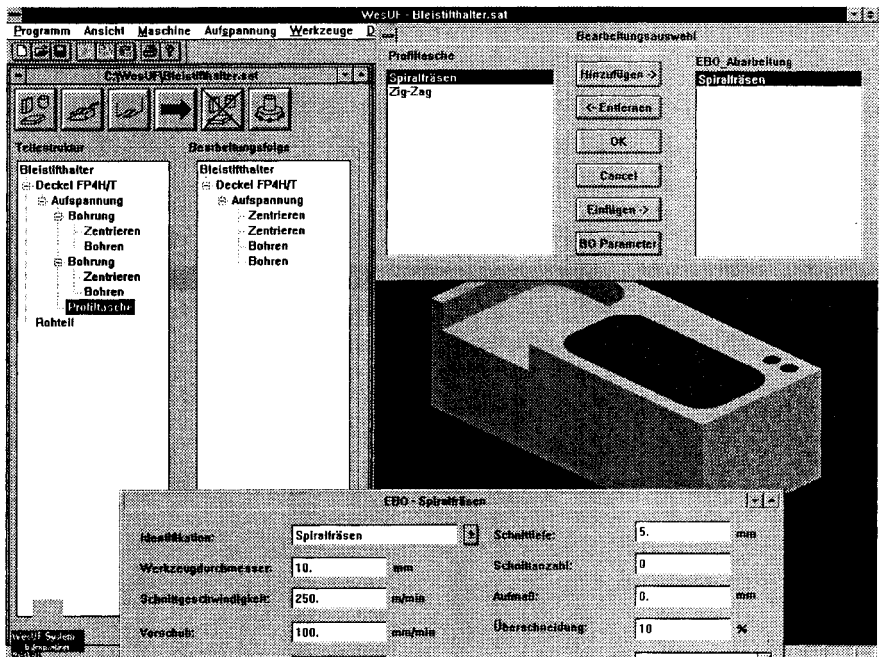


Abb. 15: Eingabemaske für Bearbeitungsobjekte

Im Sinne einer präventiven Qualitätssicherungsmaßnahme werden die Fenster dynamisch der Bearbeitungssituation angepaßt, wie beispielsweise die Änderung der Parametereingabefelder im Bearbeitungsschritt Bohrung bei Wechsel des Bohrgrundes.

Abbildung 15 zeigt eine realisierte Eingabemaske für das Bearbeitungsobjekt „Bohrung“.

In einem weiteren Schritt sind nun noch die Bearbeitungsschritte zu ergänzen, da gerade in diesem Zusammenhang das Erfahrungswissen der Facharbeiter entscheidend zum Tragen kommt (vgl. Abb. 16).

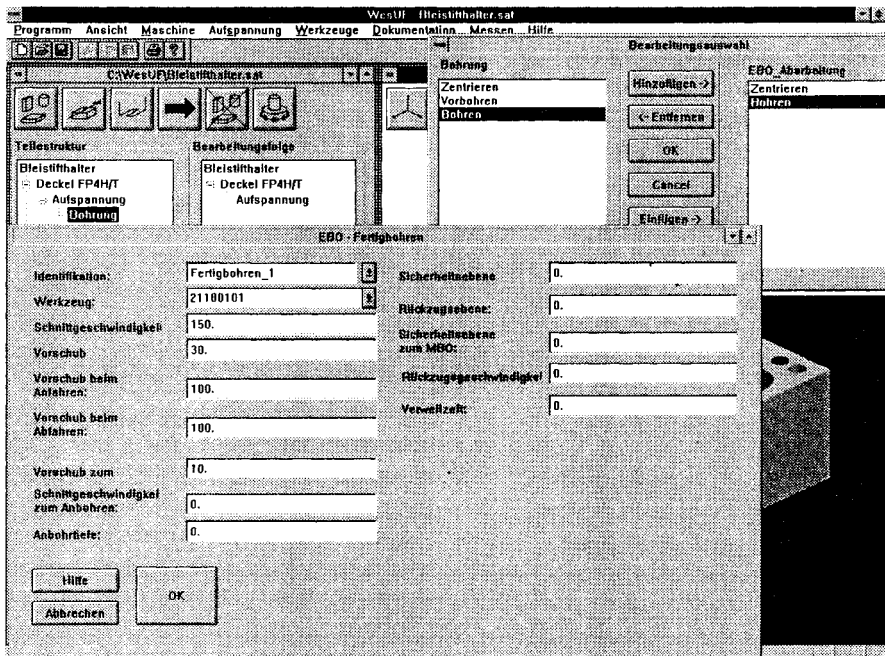


Abb. 16: Eingabemaske für Bearbeitungsschritte

4.2 Vorranggraph als Orientierungshilfe bei der Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe

In einem weiteren Schritt werden alle getätigten werkstückspezifischen Planungsschritte zur besseren Übersichtlichkeit in einem sog. Vorranggraphenfenster eingetragen und somit in eine definierte Reihenfolge gebracht. Vorteile ergeben sich weiterhin in der schnellen Aneignung und Strukturierung einer komplexen Bearbeitungsaufgabe in Informationseinheiten, um sich rasch einen detaillierten Überblick über die Bearbei-

tungssituation zu verschaffen. Somit ist es möglich, kritische, d.h. funktionsentscheidende Bearbeitungsstellen zu identifizieren. Auch wird die schnelle Umplanung und Modifikation einzelner Bearbeitungsobjekte bzw. -schritte vereinfacht.

Ausgehend von der Auftragssachnummer bzw. der Auftragsbeschreibung wird zunächst die Maschine spezifiziert. Auf der Maschinenebene werden dann bezüglich einer gewählten Aufspannung die Bearbeitungsobjekte eingefügt, welche mit Bearbeitungsschritten (enthalten die Werkzeuge und Verfahrenstrategien) weiter untergliedert werden. Funktionen zur Modifikation der Reihenfolge, wie z.B. Kopieren, Verschieben und Einfügen, sind enthalten.

Beim Übergang auf die eigentliche Bearbeitung wird durch Generierung eines zusätzlichen Eingabefensters die letztendliche Reihenfolge der Bearbeitungsschritte dargestellt. Diese Darstellung stellt nun das eigentliche Bearbeitungsprogramm mit Zwangsreihenfolge und eindeutiger Vorgänger-Nachfolger-Beziehung dar. Im momentanen Prototypenstand wird die Reihenfolgegenerierung durch den Facharbeiter der vorliegenden Bearbeitungssituation angepaßt. Die gleichzeitige Überblendung des Teilestrukturfensters mit dem Bearbeitungsreihenfolgefenster dient der Vereinfachung und Vermeidung von Komplexität schon an der Oberfläche.

4.3 Änderungsdienst zur Rückführung von Erfahrungswissen

Um Korrekturen und Optimierungen der NC-Daten (Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe und des Ablaufes mit Werkzeugdaten), die während des Einfahr- und Abarbeitungsprozesses vorgenommen werden, für vorgelagerte Bereiche nutzbar zu machen, sind verschiedene Voraussetzungen notwendig. Um eine sinnvolle Auswertung der „gelaufenen“ NC-Daten vornehmen zu können, müssen Informationen über Änderungsgründe und -ursachen vorliegen. Durch die neue objektorientierte Struktur können diese Änderungen besser gehandhabt und verarbeitet werden. Bei gravierenden Änderungen wird eine Art Änderungsdienst aufgerufen, der vom Benutzer verschiedene Angaben zu Änderungen, wie z.B. den Änderungsgrund, das Fehlerbild, die vermutete ursächliche Fehlerursache, Änderungsdauer etc., abfragt und entsprechende Dokumentationsobjekte anlegt. Mögliche Eingabemasken des Änderungsdienstes zeigt Abbildung 17.

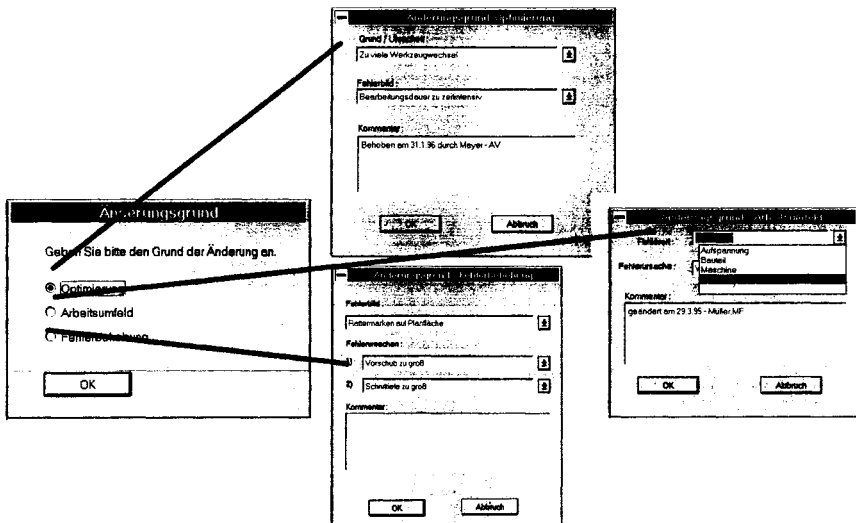


Abb. 17: Konzept des Änderungsdienstes

Änderungsgründe sind i.d.R. Fehlerbehebungen, Änderungen des Arbeitsumfeldes oder Bearbeitungsoptimierungen besonders bei Großserienfertigung. Die Änderungsobjekte können mit entsprechenden Aufbereitungs- und Filterfunktionen verarbeitet werden und den betroffenen Bereichen der Arbeitsvorbereitung (Fertigungsmittelplanung, NC-Programmerstellung etc.) zur Prüfung zugeführt werden. Mit diesem Regelkreis besteht die Möglichkeit, die Planungsgrundlagen der Arbeitsvorbereitung an die fertigungs- und betriebsspezifischen Besonderheiten (Werkstück-, Maschinen-, Werkzeug- und Technologiespektrum) langfristig anzupassen.

4.4 Aufbau des Gesamtsystems

Auf der Basis der erarbeiteten Ergebnisse wurde parallel ein Prototyp entwickelt, um die Vorteile und den Nutzen für den betrieblichen Anwender aufzeigen zu können. Zur weiteren Vertiefung der Funktionalität und Arbeitsweise des Prototyps sei auf Abschnitt 3 verwiesen. Die in Abschnitt 4 beschriebenen Unterstützungsmechanismen für den Facharbeiter sind in diesem Prototyp realisiert und durch die arbeitswissenschaftlichen Projektpartner mit Facharbeitern validiert. Abbildung 18

gibt einen Eindruck von der Gestaltung und Gliederung der Prototypeneingabe-Oberfläche in ein Geometrie- und Technologiefenster.

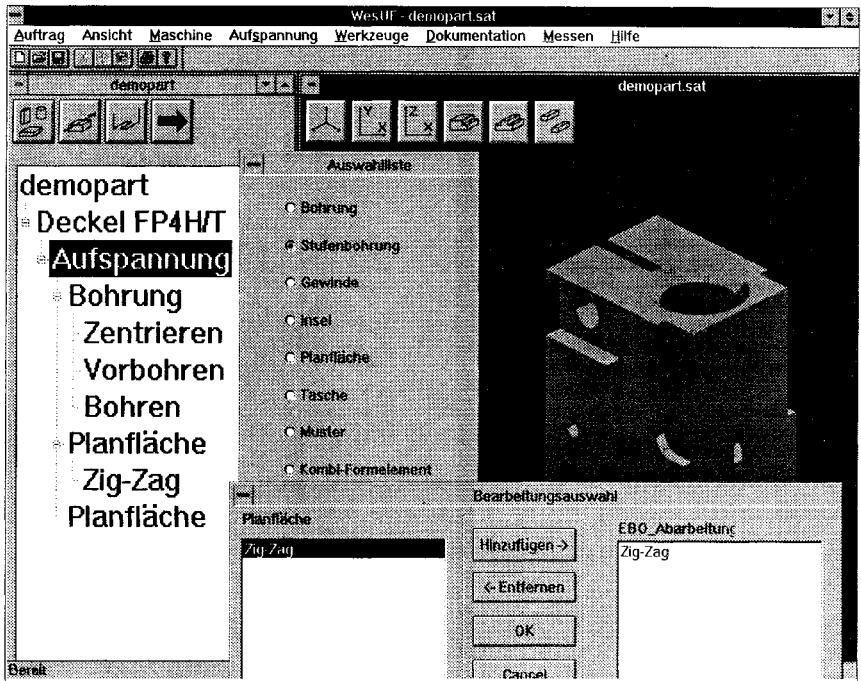


Abb. 18: Benutzeroberfläche des Prototyps

Literatur

- Fechter, Th.; Walter, W.; Reibetanz, Th.: Schnell und sicher zum ersten Werkstück. In: mav, Heft 3, 1994, S. 46-47.
- Klaiber, M.: Produktivitätssteigerung durch rechnergestütztes Einfahren von NC-Programmen, Diss., Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 1992.
- Martin, J.: Object-Oriented Analysis and Design, Englewood Cliffs/N.J. 1992.
- Meyer, B.: Objektorientierte Softwareentwicklung, München/London 1990.
- Rose, H.; Schmid, L.; Schulze, H.; Wieglend, R.: Facharbeit in einem „agilen intelligenten Produktionssystem“. In: VDI-Z, Heft 11/12, 137. Jg., 1995, S. 22-25.

- Schmidt, J.; Walter, W.: Erfassung, Aufbereitung und Interpretation von Erfahrungswissen aus dem Fertigungsprozeß - Ein Konzept zur Erfahrungsdatenrückführung. In: H. Grabowski (Hrsg.): Innovative Produktentwicklung, Proceedings zur Workshopreihe am 7./8.3.95 an der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1995, S. 255-272.
- Spath, D.; Burghardt, J.; Walter, W.: Aus Erfahrung gut - Die Rückführung von Erfahrungsdaten verbessert die NC-Programmerstellung. In: Arbeitsvorbereitung 32, Heft 4, 1995, S. 267-271.
- Spath, D.; Uhlig, A.; Burghardt J.; Fleissner, F.: Verrichtungsorientierte Prüfplanung für eine wirtschaftliche Werkerselbstprüfung. In: QZ, Heft 1, 1996.

Bearbeitungsobjekte als Basis für Informationsmodelle

1. Verarbeitung des Informationsmodells
2. Migrationskonzept für die Integration heutiger Steuerungen
3. STEP als Integrationsplattform für zukünftige Systeme
4. Zusammenfassung und Ausblick

Bearbeitungsvorgänge lassen sich durch Bearbeitungsobjekte (BO), wie Bohrungen oder Taschen, beschreiben (Reibetanz 1995). Der Grundgedanke dabei ist eine Modularisierung des Bearbeitungsprogramms in Bearbeitungsobjekte und Arbeitsschritte. Bearbeitungsobjekte, wie z.B. eine Bohrung oder Tasche, definieren dabei den geometrischen Anteil der Bearbeitungsaufgabe, während Arbeitsschritte, wie beispielsweise Zentrieren oder Vorbohren, den Bearbeitungsablauf für ein BO abbilden. Um mit einzelnen Bearbeitungsobjekten eine handlungsorientiertes Abbild der Bearbeitungsinformationen zu erreichen, bedarf es der organisatorischen Einbettung der Bearbeitungsobjekte in ein globales Datenschema, dem sog. Informationsmodell. In diesem erfolgen die datentechnischen Verknüpfungen, um auf der einen Seite den Zusammenhang zwischen einer Bearbeitungsbeschreibung und dem dazugehörenden Werkstück herzustellen, und auf der anderen Seite die Bearbeitungsbeschreibung facharbeiterlogisch, d.h. gemäß dem Denkschema des Facharbeiters, in Aufspannungen und den darin enthaltenen Bearbeitungsaufgaben zu strukturieren.

Im Informationsmodell (Abb. 1) wird ausgehend vom Werkstück, dem als Attribute u.a. die Roh- und Fertigteilgeometrie zugeordnet sind, ein Bearbeitungsmodell definiert, welches bezüglich eines bestimmten Maschinentyps (z.B. aufgrund der Kinematik der Achsen) die Definition der kompletten Bearbeitung enthält. Zur Strukturierung der gesamten Bearbeitung eines Werkstücks werden Teilmodelle gebildet, die bei der Ferti-

gung des Bauteils den verschiedenen Aufspannungen entsprechen. Innerhalb eines Teilmodells befinden sich schließlich die Bearbeitungsaufgaben in Form von Bearbeitungsobjekten und den dazugehörigen Arbeitsschritten.

Die Verwendung von Bearbeitungsobjekten zur Beschreibung des Bearbeitungsprogramms erhöht dessen Transparenz in zweierlei Hinsicht: Zum einen repräsentiert ein BO mehrere Sätze eines konventionellen NC-Programms, wodurch aufgrund des verminderten Umfangs die Übersichtlichkeit steigt. Zum anderen vermittelt die semantische Komponente des Bearbeitungsobjektnamens, z.B. „Bohrung“, sofort die zu erfüllende Fertigungsaufgabe. Jedes BO enthält wiederum einen oder mehrere Bearbeitungsschritte, die zur Lösung der Bearbeitungsaufgabe benötigt werden. In diesen befinden sich die für den Prozeß relevanten technologischen Parameter, wie Anfahrstrategie oder Schnittwerte.

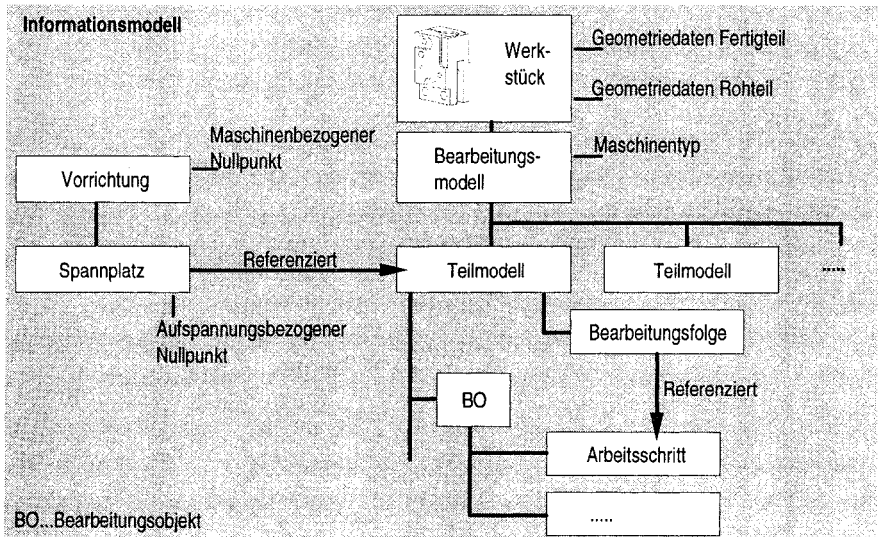


Abb. 1: Das WesUF-Informationsmodell

Für die Fertigung einer Aufspannung sind Bearbeitungsschritte in einer bestimmten Reihenfolge abzarbeiten. Diese Reihenfolge ergibt sich nicht aus der Reihenfolge der Bearbeitungsobjekte eines Teilmodells, sondern wird vielmehr über eine Liste mit Referenzen auf Bearbeitungs-

schritte gebildet. Dadurch besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Strategien zur Generierung einer abzuarbeitenden Folge von Arbeitsschritten anzuwenden, wie beispielsweise Werkzeugfolgeoptimierung, ohne daß dies Einfluß auf die Bearbeitungsobjekte des Teilmodells hat. Ferner können so auch nur Teile einer Aufspannung selektiert und bearbeitet werden.

Durch das hohe und trotzdem gut verständliche Abstraktionsniveau des Informationsmodells wird eine allgemeine Beschreibungsform erreicht, die herstellerübergreifend für den Austausch von Informationen innerhalb der NC-Prozeßkette zwischen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung eingesetzt werden kann. Dadurch entsteht eine einheitliche „Sprache“ zwischen der Fertigung und den vorgelagerten Bereichen. Informationsverluste, wie sie beim Durchlaufen der zahlreichen bisherigen Schnittstellen (wie z.B. IGES, VDAFS, CLDATA, ...) aufgetreten sind, werden somit vermieden.

Der Inhalt des Informationsmodells entsteht entlang der NC-Verfahrenskette, indem jeder Bereich seine aufgabenspezifischen Ergebnisse einbringt (Abb. 2). So kann in der Konstruktion ein Auftrag begonnen werden, indem die Geometrie eines Werkstücks erstellt wird. Durch die Verwendung von Formelementen oder technischen Elementen (Baum 1996) bei der Konstruktion des Bauteils und deren Wandlung in Bearbeitungsobjekte wird im Datenmodell schon der erste Grundstein für die Arbeitsplanung gelegt. Anschließend ist darauf aufbauend eine Ergänzung des Informationsmodells um Bearbeitungsaufgaben, die nicht direkt aus der Werkstückgeometrie resultieren, wie z.B. Vorbearbeitungen des Rohteils, und technologische Parameter über die Zuordnung von Arbeitsschritten auszuführen. Je nach Organisationsform des Unternehmens können die Ergänzung des Informationsmodells um zusätzliche Bearbeitungsaufgaben komplett in der Arbeitsvorbereitung oder arbeitsteilig die Planungsaufgaben in der Arbeitsvorbereitung und die NC-Programmierung in der Werkstatt oder die gesamte Ergänzung des Informationsmodells in der Werkstatt erfolgen. Somit unterstützt das einheitliche Informationsmodell unterschiedliche Organisationsformen in der NC-Verfahrenskette.

Weil somit eine einheitliche Schnittstelle in Form des Informationsmodells innerhalb der gesamten Verfahrenskette verwendet wird, können nun auch an der Maschine erfaßte oder geänderte Informationen in die der Fertigung vorgelagerten Bereiche zurückgeliefert werden. Dadurch

verschwindet der „Flaschenhals“, der bisher mit dem NC-Programm nach DIN 66025 zu Informationsverlusten zwischen NC-Programmierung und der Fertigung und umgekehrt geführt hat.

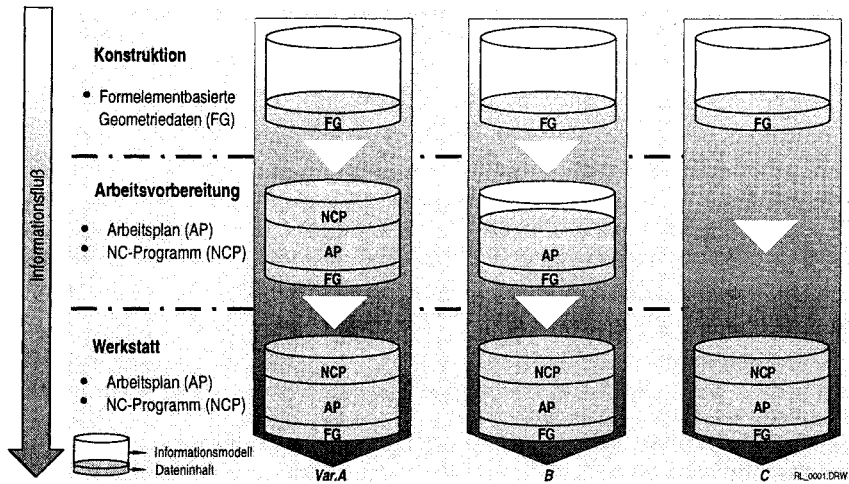


Abb. 2: Generierung der Fertigungsdaten mit flexiblen Organisationsformen

1. Verarbeitung des Informationsmodells

Bisher ist der Austausch von NC-Programmen nach DIN 66025 zwischen Steuerungen verschiedener Hersteller und verschiedenen Maschinen nur in begrenztem Umfang möglich, da jeder Hersteller einen eigenen „Dialekt“ der NC-Sprache nach DIN 66025 einsetzt. Der Hauptteil eines NC-Programmes ist über die DIN- bzw. ISO-Norm festgelegt, aber gerade die kleinen Differenzen, wie beispielsweise eine unterschiedliche Vorgehensweise für das Einbringen von Kommentaren im NC-Programm, bereitet Schwierigkeiten beim Austausch von Bearbeitungsprogrammen zwischen unterschiedlichen Steuerungen. Die abstrakte, aufgabenorientierte Beschreibung von Bearbeitungen durch das Informationsmodell ermöglicht hier Bearbeitungsprogramme zwischen unterschiedlichen Steuerungen auszutauschen. Erst auf der Steuerung erfolgt die Umsetzung von Arbeitsschritten in Verfabrbewegungen der Maschine (Abb. 3)

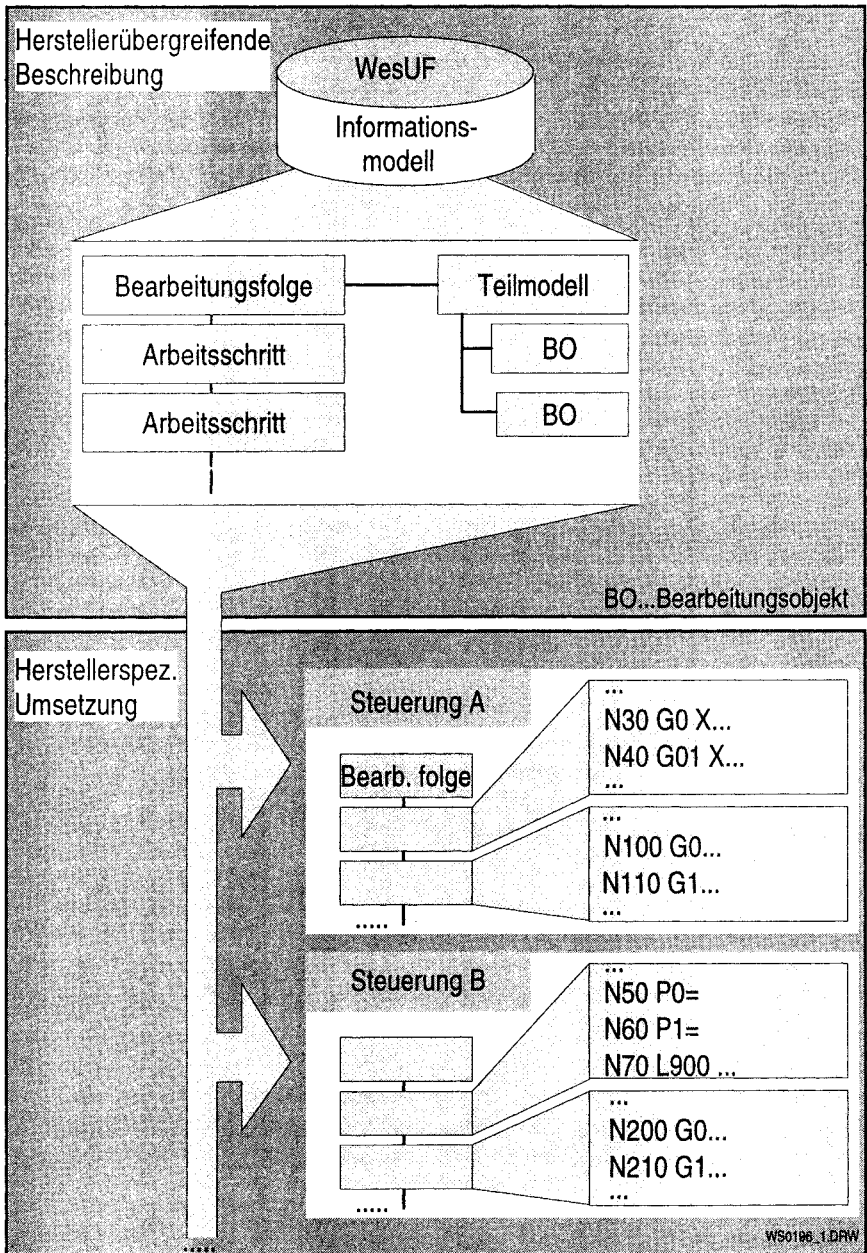


Abb. 3: Verarbeitung des Informationsmodells

und somit die steuerungsspezifische Generierung von Steueranweisungen. Für den Steuerungshersteller entstehen so Möglichkeiten, den Funktionsumfang der Steuerung frei zu gestalten. So können die Arbeitsschritte eines Teilmodells auf einer „Steuerung A“ durch die Verwendung von NC-Programmierungsfunktionen beispielsweise in einzelne NC-Sätze aufgelöst werden, während das gleiche Bearbeitungsteilmodell von einer „Steuerung B“ durch den Einsatz von Steuerungszyklen abgearbeitet wird (Abb. 3).

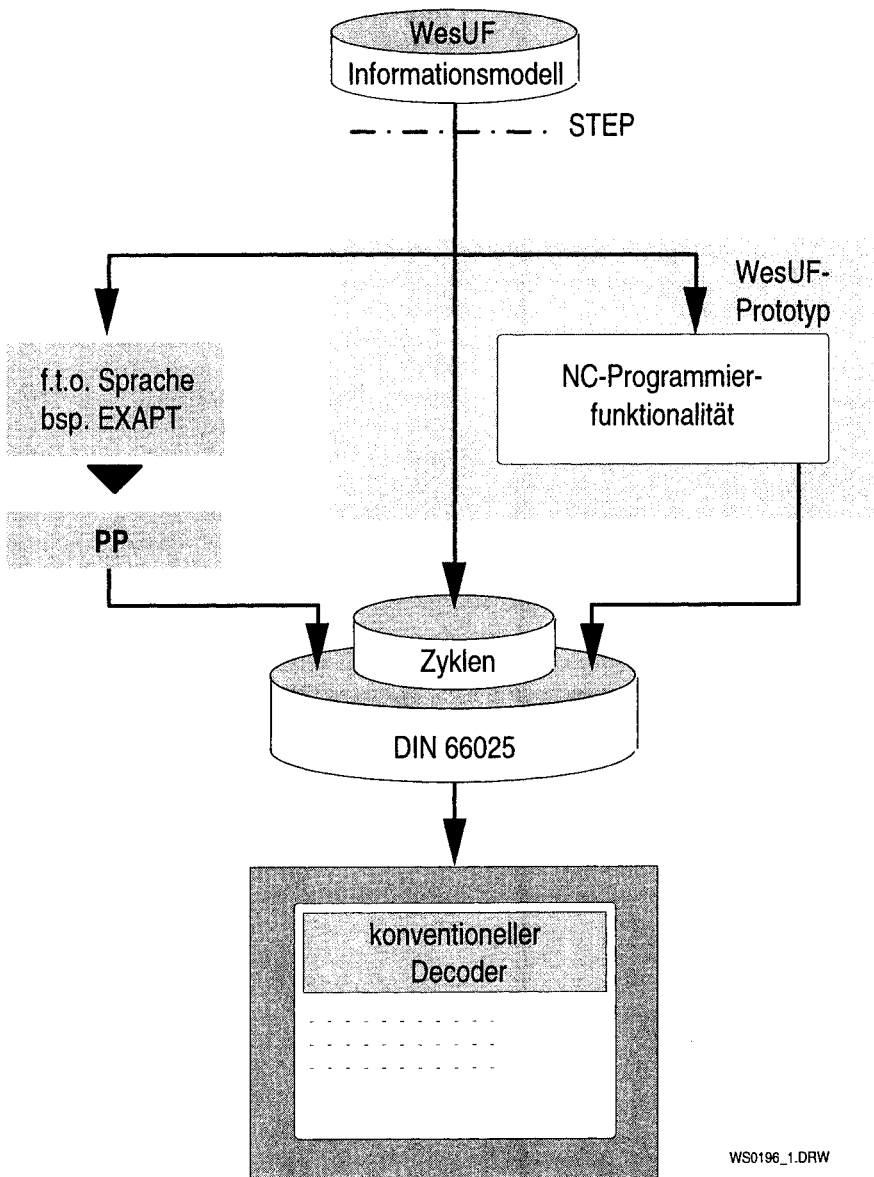
Für die Umsetzung von Arbeitsschritten in Achsbewegungen der Maschine sind momentan Migrationslösungen erforderlich, um NC-Maschinen, die heute in der Produktion eingesetzt werden, in ein durchgängiges Konzept wie das WesUF-Informationsmodell zu integrieren.

2. Migrationskonzept für die Integration heutiger Steuerungen

Heutige NC-Programme nach DIN 66025 enthalten Steueranweisungen, die eine NC-Maschine ausführen soll, sowie Schaltinformationen, wie beispielsweise „Kühlmittel ein“. Das WesUF-Informationsmodell beinhaltet dagegen eine allgemeine Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe durch Bearbeitungsobjekte und Arbeitsschritte. Die Ausführungsanweisungen für die NC-Maschine ergeben sich als Ableitung aus den Arbeitsschritten, in welchen die technologischen Parameter, wie z.B. Werkzeug oder Vorschub, enthalten sind. Daher können aus dem Informationsmodell verschiedene Varianten von Bearbeitungsprogrammen erzeugt werden. So ist es möglich, aus dem Modell sowohl Teileprogramme in Form von fertigungstechnisch orientierten Programmiersprachen zu erzeugen, um über konventionelle Prozessoren und Postprozessoren ein NC-Programm nach DIN 66025 zu erhalten, als auch direkt NC-Code nach DIN 66025 zu generieren.

Im WesUF-Prototyp werden, wie in der Abbildung 4 dargestellt, zwei Wege verfolgt: Zum einen werden unter Verwendung von NC-Programmierungsfunktionen aus dem NC-Modul Strata¹ oder dem Programmiersy-

1 Strata Development Environment, NC Interface Manual, Firmenschrift der Fa. Spatial Technology.



WS0196_1.DRW

Abb. 4: Varianten für die Generierung von Steueranweisungen

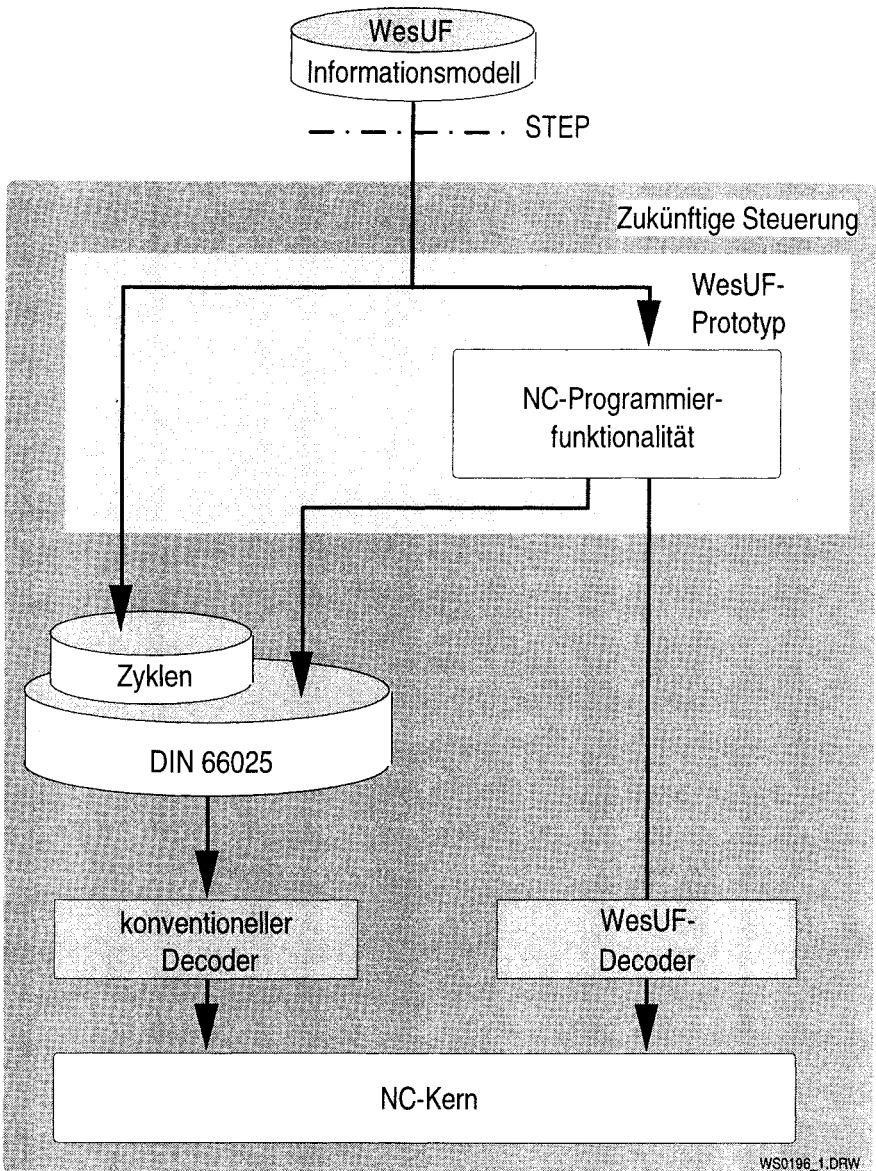


Abb. 5: Schrittweise Migration zur bearbeitungsobjektbasierten NC-Steuerung

stem EXAPT² NC-Code nach DIN 66025 aus den Daten des Informationsmodells erzeugt und zum anderen auch direkt aus dem Informationsmodell steuerungsspezifische NC-Programme für die Verwendung von Steuerungszyklen generiert. Auf beide Arten können Bearbeitungsprogramme erzeugt werden, die auf heute verfügbaren Steuerungen abgearbeitet werden können. Das Ziel für die Zukunft ist es allerdings, das Informationsmodell direkt in der Steuerung zu verarbeiten und somit Verfahrenswisungen direkt an den NC-Kern weiterzuleiten (Abb. 5).

Hierbei kann im ersten Ansatz als interne Beschreibungsform der NC-Verfahrwege weiterhin DIN 66025-Code verwendet werden, welcher dann nicht mehr sichtbar wird und somit dem Werker verborgen bleibt. Ziel ist es allerdings, direkt Bearbeitungsobjekte dem NC-Kern zur Bearbeitung zu übergeben. Nur durch die direkte Verarbeitung von Bearbeitungsobjekten in der Steuerung kann der interaktive Umgang mit BO bis hin zu deren Online-Abarbeitung realisiert werden.

Um das Informationsmodell entlang der NC-Verfahrenskette einsetzen zu können, muß dessen Inhalt zwischen verschiedenen Systemen, wie CAD-, Arbeitsplanungs- oder NC-Programmiersystemen, ausgetauscht werden können. Hierzu ist ein einheitliches Schnittstellenformat notwendig, welches zum einen die vielfältigen Produktinformationen beinhaltet und zum anderen an einen steigenden Informationsbedarf angepaßt werden kann. Bisherige Schnittstellen sind aufgabenspezifisch, beispielsweise für den Austausch von Geometriedaten, ausgelegt. Daher wird für den Datenaustausch des WesUF-Informationsmodells der Schnittstellenstandard STEP³ verwendet.

3. STEP als Integrationsplattform für zukünftige Systeme

Für den Datentransfer zwischen Systemen, wie z.B. NC-Programmiersystemen, und dem WesUF-Informationsmodell müssen Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden, um so die Integration des Informationsmodells in die betrieblichen Prozesse zu ermöglichen. Primär steht der Ein-

-
- 2 EXAPTplus Grundsystem, Sprache, Anwendungsdokumentation, Firmenschrift der Fa. EXAPT Systemtechnik GmbH.
 - 3 ISO 10303-11, Description methods: EXPRESS language reference manual.

satz des Informationsmodells innerhalb der NC-Verfahrenskette zwischen der Konstruktion und der Fertigung als einheitliche Datenschnittstelle im Vordergrund. Bisherige in der NC-Verfahrenskette eingesetzte Schnittstellen, wie IGES, VDAFS, CLDATA usw., sind für einen bestimmten Verwendungszweck bestimmt, wie beispielsweise dem Austausch von Geometrieinformationen. Für darüber hinausgehende Informationen bestehen keine oder nur geringe Möglichkeiten, diese in eine bestehende Schnittstellendefinition zu integrieren. STEP verfolgt im Gegensatz zu bisher verwendeten Schnittstellenformaten den Ansatz, alle Daten abbilden zu können, die während des Lebenszyklusses eines Produktes anfallen. Damit sind bisherige Schnittstellen als Untermenge „quasi“ in STEP enthalten. Darüber hinaus werden in STEP generische Mechanismen eingesetzt, die es dem Anwender ermöglichen, neben der breiten Palette von vordefinierten Datenelementen auch eigene Definitionen einzubringen. Dabei werden dieselben Mechanismen und Dateien für den Datenaustausch verwendet wie für die STEP-Datenelemente.

STEP bietet damit die besten Voraussetzungen für die Realisierung des Informationsmodells. Durch die breite Datenbasis des STEP-Produktmodells ist die Anbindung des Informationsmodells an externe Systeme, wie z.B. CAD-Systeme zur Generierung der Geometriedaten für Werkstück und Bearbeitungsobjekte, möglich. Um das WesUF-Informationsmodell konform zu den STEP-Partialmodellen zu entwickeln, wird für die Modellierung des Informationsmodells die formale Beschreibungssprache EXPRESS bzw. für die grafische Darstellung das Pendant dazu, EXPRESS-G, eingesetzt. Somit entsteht lediglich geringer Aufwand bei der Erweiterung des Informationsmodells um weitere STEP-Elemente.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das WesUF-Informationsmodell stellt eine einheitliche Datenbasis dar, die innerhalb der NC-Prozeßkette zwischen Konstruktion und Fertigung eingesetzt werden kann. Durch die abstrakte, aber dennoch verständliche Beschreibung von Bearbeitungsaufgaben durch Bearbeitungsobjekte und Arbeitsschritte wird eine herstellerübergreifende Schnittstelle erreicht, welche bidirektionalen Informationsaustausch zwischen den betrieblichen Bereichen ermöglicht und die Transparenz von Bearbeitungsprogrammen erhöht. Die STEP-konforme Implementierung und die Ver-

wendung des STEP-Austauschformats bringen die notwendige Offenheit des Ansatzes, um bereits verfügbare Systeme, wie CAD- oder Programmiersysteme, in den durchgängigen Informationsfluß zu integrieren.

Um heutige Maschinensteuerungen mit dem WesUF-Informationsmodell berücksichtigen zu können, sind Migrationslösungen auf der Basis von DIN 66025 notwendig. Für die Zukunft ist allerdings die Implementierung des Informationsmodells direkt in der Steuerung und damit die Verarbeitung der Bearbeitungsobjekte dort anzustreben.

Literatur

- Reibetanz, T.: Situationsorientierte Bearbeitungsmodellierung zur NC-Programmierung, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995.
- Baum, T.: Grafisch-interaktive NC-Programmierung im Dialog. In: iX (Multi-user Multitasking Magazin), Heft 1, 1996, S. 74-78.

Technische Unterstützung der Nutzerforderungen in einer objektorientierten Werkzeugmaschinensteuerung

1. Technische Umsetzung globaler Handlungsorientierung
2. Technische Umsetzung der situativen Handlungsorientierung
3. Zusammenfassende Bewertung

Unter dem Gestaltungskriterium „Handlungsorientierung“ wird im Projekt WesUF die Eignung von Technik und technischen Systemen verstanden, das konkrete Handeln von Arbeitskräften zu unterstützen. Die angestrebte Unterstützung bezieht sich auf die Handlungssequenzen, die die Werker an computergesteuerten Werkzeugmaschinen (CNC-Wzm) in der Metallfertigung tatsächlich ausführen. Die Unterstützung des konkreten Arbeitshandelns von Workern bei der Teilefertigung mit CNC-Wzm durch technische Hilfsmittel steht somit im Zentrum des Forschungsvorhabens. Um das Gestaltungskriterium der Handlungsorientierung näher zu erläutern, soll zunächst die grundsätzliche Entscheidung begründet werden, das Handeln von Workern „vor Ort“ in den Mittelpunkt der Technikunterstützung zu stellen.

Die Zielperspektive einer Unterstützung des Workers vor Ort gründet sich auf die mittlerweile vielfältigen empirischen Analysen von Fertigungsproblemen, wie sie für die Einzel- und Kleinserienfertigung typisch sind (vgl. Rose 1995; Martin 1995; Sell, Henning 1993). Mit dem Einsatz von CNC-Wzm wurde zunächst die Erwartung verbunden, daß Worker an solchen Maschinen nicht mehr notwendig sein würden. Dem prinzipiell selbsttätigen Funktionsprinzip der CNC-Wzm liegt die Vorstellung zugrunde, daß die Teilefertigung in ihrem Verlauf komplett im voraus bestimmbar ist und Abweichungen davon nur noch vernachlässigbar auftreten (vgl. Böhle u.a. 1993). Die Erfahrung der Betriebe sieht in der Praxis jedoch anders aus: NC-Programme laufen beim ersten Einsatz in

der Regel nicht fehlerfrei, es treten gravierende Abweichungen des realen vom geplanten Bearbeitungsprozeß auf (Schulz, Fechter 1994; Rose 1990). Auf der Grundlage von logischen Wenn-Dann-Regeln und Problemlöseprozeduren gelingt es nicht, solche Abweichungen zu kompensieren und aufzufangen. Hieraus resultieren für die Fertigung schwerwiegende Probleme: So kommt es zu Maschinenstillständen, zu Zeitverzögerungen, zu Werkzeugbrüchen und zu Einbußen in der Qualität. Solche für eine automatisierte Fertigung „kritischen Situationen“ zeichnen sich u.a. durch schleichende, nicht voraussehbare Veränderungen des Zerspanungsprozesses aus. Werkzeuge nutzen sich z.B. teils kontinuierlich, teils sprunghaft ab, Oberflächen und Stoffzusammensetzungen von Werkstücken unterscheiden sich graduell, Werkstoffe und Maschinen erwärmen sich allmählich im Laufe der Bearbeitung. In der betrieblichen Praxis hat sich gezeigt, daß daraus resultierende Probleme entscheidend seltener auftreten, wenn qualifizierte Facharbeiter an den Maschinen stehen. Sie sind in der Lage, Situationen, die den Bearbeitungsprozeß behindern oder stören können, zu einem bedeutsamen Prozentsatz vorwegnehmend zu erkennen und situationsadäquat zu bewältigen (Schulze, Carus 1995). Allerdings werden sie durch die herkömmliche Form der CNC-Wzm bei der Bewältigung solchermaßen kritischer Situationen und bei der Aufrechterhaltung der Produktion systematisch behindert: So ist die Prozeßtransparenz durch die Verkapselung der Maschinen sowie durch den Informationsverlust infolge des DIN NC-Codes deutlich eingeschränkt, und Eingriffe in den Prozeß sind durch die Art und Weise der Computersteuerung stark begrenzt.

An dieser Stelle stellt sich die Frage, wie in Zukunft mit kritischen Arbeitssituationen umgegangen werden soll. Ein erster Lösungsweg könnte in einer Intensivierung der Bemühungen liegen, das Auftreten solcher Situationen durch automatische Techniksysteme zu vermeiden oder sie dann, wenn sie aufgetreten sind, automatisch zu beseitigen. Im Projekt WesUF wurde dieser Weg als nicht erfolgversprechend beurteilt. Es wird davon ausgegangen, daß infolge der Grenzen der Planbarkeit des betrieblichen Fertigungsalltags kritische Situationen immer wieder neu entstehen und sich nicht komplett durch eine weiter verbesserte Automatisierungstechnik vermeiden lassen werden. Eher im Gegenteil wird erwartet, daß Fertigungskonzepte wie Lean Production und Just-in-time-Fertigung die Betriebe zu kürzeren Produktionszeiten, einer verstärkten Kundenorientierung und einer weiter erhöhten Flexibilität der gesamten Fertigung nötigen. Damit einhergehend erhöht sich ebenfalls die Auftretenswahrscheinlichkeit kritischer Situationen. Vor diesem Hintergrund wur-

de im Projekt WesUF ein anderer Lösungsweg gewählt, nämlich die Unterstützung der Werker bei der Bewältigung kritischer Arbeitssituationen durch geeignete Techniklösungen.

Ansatzpunkte für eine solche Unterstützung leiten sich ab aus der Analyse der Bedingungen, unter denen Facharbeiter besonders gut in der Lage sind, kritische Situationen handelnd zu bewältigen. Nach den Ergebnissen der empirischen Untersuchungen im Projekt CeA (Carus, Schulze 1995), die sich in den Untersuchungen im WesUF-Projekt bestätigten, sind dies u.a. drei Bedingungen:

- Es stehen relevante Prozeßinformationen zur Verfügung, und sie sind über die Wahrnehmung zugänglich.
- Es stehen ausreichende Eingriffsmöglichkeiten zur Verfügung.
- Es stehen Möglichkeiten zur Verfügung, die den Werkern erlauben, ein Verständnis für technisch-organisatorische Abläufe auszubilden, so daß sie Vorstellungen darüber entwickeln können, an welchen Stellen der Produktionsablauf kritisch werden könnte und wie sie hier gezielt eingreifen können.

Wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, gelingt es Facharbeitern aufgrund ihres Wissens und ihrer Erfahrungen, kritische Situationen zu einem hohen Prozentsatz zu bewältigen. Das konkrete Handeln hat sich hier als zentral herausgestellt und steht deshalb im Fokus der technischen Unterstützung im Projekt WesUF: Im konkreten Handeln wird theoretisches Sachwissen ergänzt, werden Erfahrungen erworben, angewendet, erhalten und weitergegeben. Praktische Erfahrungen sind nach den Ergebnissen des CeA-Projekts zu einem großen Teil in konkrete Handlungsvollzüge eingebettet, sind von diesem nicht ablösbar und zeigen sich erst im Moment des konkreten Handelns.

Da mit dem konkreten Handeln somit eine Schlüsselkategorie für die Erklärung der Bewältigung kritischer Situationen durch die Werker identifiziert ist, stellt sich nunmehr die Frage, wie Handeln durch Technik unterstützt werden kann. Hierfür muß zunächst geklärt werden, wodurch sich Arbeitshandeln von Werkern an CNC-Wzm auszeichnet. Auf dieser Grundlage können dann im nächsten Schritt Anforderungen an technische Unterstützungssysteme formuliert werden.

Im folgenden werden Prinzipien und Merkmale des Handelns von Werkern an CNC-Wzm näher beschrieben. Jeweils im Anschluß daran wird

gezeigt, wie diese Handlungsprinzipien und -merkmale im WesUF-Prototyp durch die technische Modellierungsmethode der Objektorientierung umgesetzt werden.

In den empirischen Analysen des Arbeitshandelns in Produktionsbereichen der Firmen ABB, Gebr. Heller GmbH und Mercedes Benz AG wurden zwei unterschiedliche Orientierungen im Handeln der Werker gefunden: eine auf einen routinemäßigen Normalgang der Teilefertigung ausgerichtete „globale Handlungsorientierung“ und eine auf kritische Veränderungen ausgerichtete „situative Handlungsorientierung“. Letztere kommt immer dann zum Tragen, wenn Abweichungen im routinemäßigen Normalgang wahrgenommen werden.¹

- 1 Eine Schwierigkeit besteht in der Unterscheidung zwischen einem „objektiven“ Normalgang sowie einer „objektiv“ kritischen Veränderung einerseits und der subjektiven Einschätzung eines solchen Normalgangs wie auch der subjektiven Einschätzung einer kritischen Veränderung andererseits. Zwischen dem objektiven, äußeren Sachverhalt und den subjektiven, inneren Einschätzungen sind verschiedene Beziehungen möglich, die in der folgenden Übersicht deutlich gemacht werden sollen:

	Objektiver Normalgang	Objektiv kritische Veränderung
Subjektive Einschätzung: Normalgang	Übereinstimmung	Kritische Veränderung wird fälschlich als Normalgang eingeschätzt
Subjektive Einschätzung: Kritische Veränderung	Normalgang wird fälschlich als kritische Veränderung eingeschätzt	Übereinstimmung

Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Bestimmung von Bewertungskriterien des „objektiven Normalgangs“ und der „objektiv kritischen Veränderung“: Was normal und was kritisch ist, ist zum einen von den Kontextbedingungen und Fertigungsanforderungen abhängig und läßt sich zum anderen z.T. erst rückblickend vom Ergebnis des Fertigungsprozesses her beurteilen. Ob z.B. ein bestimmtes Geräusch eine kritische Situation anzeigt oder noch einem Normallauf zuzuordnen ist, ist auch eine Frage der qualitativen Anforderung, wie z.B. der Oberflächengüte: Bei einer hohen Güte würde ein schrilles Geräusch eine kritische Situation bedeuten, da evtl. Rattermarken entstehen. Bei einer geringeren Güte könnte ein solches Geräusch noch „normal“ sein, auf Rattermarken kommt es in dem Fall weniger an. In diesem Zusammenhang wird bereits ein weiteres Problem deutlich: Die Grenze zwischen „normal“ und „kritisch“ kann in Übergangsbereichen sehr fließend sein und ist objektiv nicht oder nur mit viel technischem Aufwand bestimmbar.

Unabhängig von der Richtigkeit der subjektiven Einschätzung findet sich im Erleben erfahrener Fachkräfte ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Arten der Handlungsorientierung. Die auf den „routinemäßigen Nor-

Besonders interessant ist die Beziehung zwischen diesen beiden Arten der Handlungsorientierung. Denn der Hintergrund eines routinemäßigen Normalgangs liefert Orientierung im Handlungs- und Ereignisfluß und ermöglicht die Erkennung einer „kritischen Veränderung“. Erst die Ausprägung einer Vorstellung von einem „Normalgang“ der Fertigung erlaubt eine Erkennung und Identifikation von kritischen Arbeitssituationen als Abweichungen von diesem „Normalgang“. Die mit einem Normallauf assoziierten Vorstellungsbilder stellen einen Bewertungsmaßstab zur Verfügung, aufgrund dessen Abweichungen im Bearbeitungsverlauf bemerkt werden können. Nach unseren Analysen bei der Planung, Einstellung und Steuerung des maschinellen Bearbeitungsprozesses mit CNC-Wzm orientieren sich die Fachkräfte zunächst an diesem sog. „Normalgang“, wohl wissend und berücksichtigend, daß Abweichungen von dem idealtypischen Fall der störungsfreien und komplikationslosen („wie geplant“) Bearbeitung immer möglich sind.

Die analytische Unterscheidung dieser beiden Arten von Handlungsorientierung erlaubt die Identifikation erschwerender Handlungsvoraussetzungen. So besteht z.B. eine besondere Anforderung dann, wenn Gegenstandsbereiche so neu sind, daß hierfür noch kein routinemäßiger Normalgang ausgebildet werden konnte. In diesem Fall ist keine angemessene Unterscheidung in wichtig oder unwichtig möglich, und es sind problemlösende und heuristische Strategien für die Bewältigung kritischer und unbekannter Situationen gefordert. Weiterhin ist problematisch, wenn Signale, die mit einer kritischen Situation einhergehen, nicht als solche interpretiert werden, da dann wichtige Einfluß- und Korrekturmöglichkeiten leicht verpaßt werden. In diesem Zusammenhang stellt sich erstens die Frage nach förderlichen und hinderlichen Personbedingungen und -eigenschaften, die entweder ein Agil-Werden nach dem

malgang“ ausgerichtete globale Handlungsorientierung umfaßt die Organisation der Teilefertigung insgesamt. Auf der Basis von Erfahrung mit vielen Fertigungsverläufen existiert eine „grobe“ überblicksartige Vorstellung des Fertigungsablaufs. Demgegenüber zeichnet sich die situative Handlungsorientierung, die auf „kritische Veränderungen“ ausgerichtet ist, durch eine größere Detailliertheit und aktuellere Situationsbezogenheit aus. Sie ist weiterhin stärker explorativ/agil, wogegen sich die globale Art eher durch Adjektive wie „laufenlassen“/lethargisch beschreiben läßt. Weitere Beschreibungen gehen in die Richtung vorausschauend, überblicksartig oder weiträumig-grob; sie umfaßt einen größeren Planungshorizont. Die situative Art der Handlungsorientierung bezogen auf kritische Veränderungen läßt sich demgegenüber durch Adjektive wie entdeckend, fokussierend oder ausschnittartig beschreiben und umfaßt einen eng umgrenzten Planungshorizont.

Motto „wehret den Anfängen“ oder ein eher passiv-konservatives „Laufenlassen“ befördern. Zweitens stellt sich die Frage, wie überprüft werden kann, ob eine aktuelle Situation dem Normalgang entspricht oder ob bereits eine kritische Veränderung eingetreten ist.

Für das Projekt WesUF stehen jedoch die Konsequenzen für die Technikentwicklung im Vordergrund, die sich aus der Differenzierung der Handlungsorientierung in zwei Arten ergeben. Sowohl die auf einen routinemäßigen Normallauf ausgerichtete globale als auch die auf kritische Veränderungen ausgerichtete situative Art der Handlungsorientierung müssen von technischen Systemen unterstützt werden, wenn diese dem Kriterium der Handlungsorientierung genügen sollen. Oft genug wurde in der Vergangenheit versucht, einen „Normalgang“ zu definieren und vorzugeben, ohne genügend zu berücksichtigen, wie auftretende kritische Abweichungen mit der gleichen Technik bewältigt werden sollen. Wenn man andererseits nur auf die Unterstützung der Bewältigung kritischer Arbeitssituationen abzielte, könnte der umgekehrte Fall eintreten, daß nämlich der „Normalgang“ nicht angemessen unterstützt und damit „kritisch“ werden würde.

Aufgrund dieser Unterscheidung zwischen einem routinemäßigen Normalgang der Fertigung und kritischen Situationen als Abweichungen davon halten wir eine Differenzierung des Kriteriums der Handlungsorientierung in die Formen der globalen und der situativen Handlungsorientierung für angemessen. Im folgenden werden wir die beiden Arten der Handlungsorientierung näher ausführen.

1. Technische Umsetzung globaler Handlungsorientierung

Die technische Umsetzung der auf einen routinemäßigen Normalgang ausgerichteten globalen Handlungsorientierung im WesUF-Prototyp bedeutet, daß solche Handlungsmerkmale unterstützt werden, die einen „Normalgang“ der Zerspanung betreffen. In den folgenden Ausführungen werden jeweils zunächst aus der arbeitspsychologischen Perspektive Prinzipien dieser Art der Handlungsorientierung beschrieben, um anschließend aus der ingenieurwissenschaftlichen Perspektive deren technische Umsetzung im Prototyp aufzuzeigen. Dabei wird zunächst ein Aufgabenszenario entworfen, innerhalb dessen der „routinemäßige Normalgang“ bei der Zerspanung organisiert wird. Anschließend werden ausge-

wählte Handlungsprinzipien bei der zerspanenden Bearbeitung dargestellt, wie sie in diesem Zusammenhang im Rahmen der auf den „routinemäßigen Normalgang“ ausgerichteten globalen Handlungsorientierung typischerweise vorgefunden wurden.

1.1 Aufgabenszenario im Rahmen der zerspanenden Bearbeitung

Arbeitspsychologische Beschreibung: Eine erste technische Anforderung, die sich aus der auf den „routinemäßigen Normalgang“ ausgerichteten globalen Handlungsorientierung ableitet, betrifft die Ausgestaltung eines Normalgangs für eine bestimmte Bearbeitung. In diesem Zusammenhang muß zunächst geklärt werden, was unter einem „Normalgang“ verstanden werden soll. Die subjektgebundene Hintergrundfigur eines „routinemäßigen Normalgangs“ bezieht sich immer auf aktuelle und konkrete Fertigungsbedingungen und ist von diesen nicht ablösbar: Wenn Fachkräfte eine neue Bearbeitungsaufgabe übernehmen, bilden sie den auf die aktuellen Bedingungen bezogenen „routinemäßigen Normalgang“ immer wieder neu. Darüber hinaus ist die Repräsentation eines situationsbezogenen „routinemäßigen Normalgangs“ abhängig von den erfahrenen und erlebten Fertigungsverläufen: Diese Erfahrungen bilden quasi den Pool, aus dem dann die Vorstellung des auf die jeweilige Situation bezogenen routinemäßigen Normalgangs entwickelt werden kann. Es kann somit festgehalten werden: Nur der situationsbezogene „routinemäßige Normalgang“ wird mental - in mehr oder weniger grober Form - repräsentiert, während die Gesamtheit der erlebten Fertigungsverläufe, auf deren Grundlage diese Vorstellung entwickelt wird, selbst nicht bewußt wird.

Bei der technischen Umsetzung der „globalen“ Handlungsorientierung kommt es darauf an, möglichst umfassend diesen Pool der möglichen „routinemäßigen Normalgänge“ zu unterstützen und nicht nur den „Normalgang“ für eine gerade aktuelle Bearbeitung. Diese Anforderung kann gelöst werden, indem ein Szenario der Arbeitsaufgaben und Arbeitsinhalte beschrieben wird, auf das sich die „routinemäßigen Normalgänge“ dann beziehen und das durch die Technik unterstützt wird. Dieses Aufgabenszenario betrifft im Projekt WesUF die zerspanende Bearbeitung von Metall mit CNC-Werkzeugmaschinen in verschiedenen organisatorischen Umfeldern. Die einbezogene betriebliche Spannbreite reicht von der Einzelarbeit an einer CNC-Wzm mit Werkstattprogrammierung bis hin zur Teamarbeit in einem flexiblen Fertigungssystem mit externer NC-

Programmierung. Im Mittelpunkt der technischen Unterstützung steht somit die Zerspanungsaufgabe Fräsen.

Im Projekt WesUF wurden die Handlungssequenzen und -ziele von Facharbeitern bei der Bewältigung der Zerspanaufgabe eingehend untersucht. Die Gesamtheit der für dieses Aufgabenspektrum gefundenen Handlungssequenzen sind in sog. „Handlungsbausteinen“ zusammengefaßt. Ein Handlungsbaustein beinhaltet eine inhaltlich zusammengehörende Klasse von Handlungsschritten und -zielen und grenzt sie gegenüber einer anderen Klasse ab. Die Handlungsvollzüge der Fachkräfte zur Bewältigung der Zerspanungsaufgabe lassen sich mit neun Handlungsbausteinen beschreiben. In Abbildung 1 sind die einzelnen Handlungs-

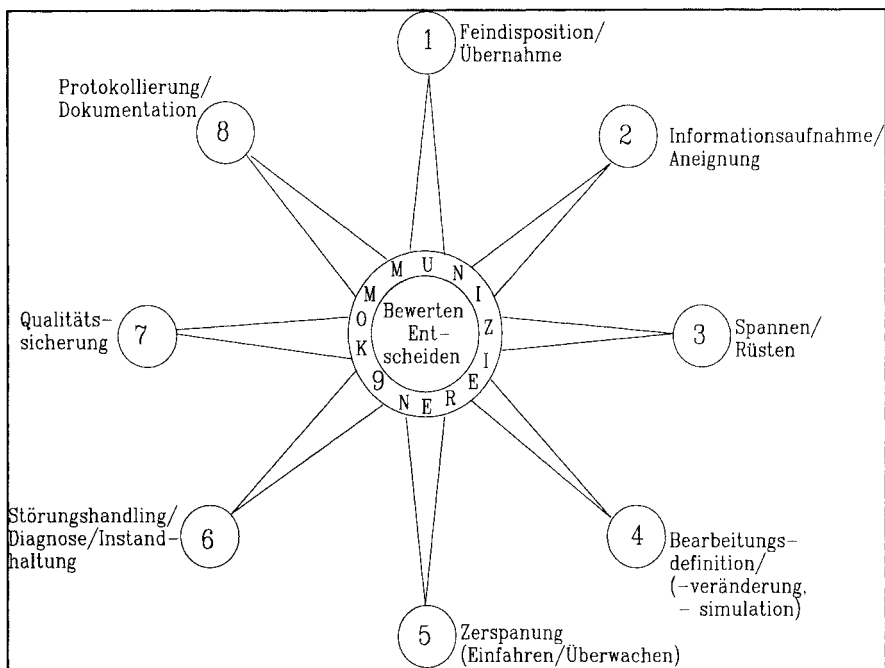


Abb. 1: Handlungsbausteine bei der Zerspanung

bausteine sternförmig um einen inneren Kreis angeordnet, nur der Handlungsbaustein 9 („Kommunizieren“) ist als Ring um den innersten Kreis dargestellt. Durch diese Darstellung soll das Prinzip veranschaulicht werden, daß die Werker auf der Grundlage eines Bewertungs- und

Entscheidungsprozesses (angedeutet im Inneren des Kreises) jeweils den aktuell passenden Handlungsbaustein auswählen. Hierbei kommt dem „Kommunikationsbaustein“ eine Schnittstellenfunktion zu, da er von jedem anderen aus direkt erreicht werden kann und jeder Handlungsbaustein über den Handlungsbaustein „Kommunizieren“ mit dem Bewertungs- und Entscheidungsprozeß verbunden ist. Dies trägt der Beobachtung Rechnung, daß in den Betrieben in jedem Handlungsabschnitt Absprachen der Kollegen untereinander als auch zu vor- und nachgelagerten Betriebsbereichen zu finden sind.

Die Ziele und Sequenzen der einzelnen Handlungsbausteine sind in der nachfolgenden Übersicht zusammengefaßt.

Das Aufgabenszenario, auf das der Prototyp ausgerichtet wurde, läßt sich mit den aufgeführten Handlungsbausteinen bewältigen. Auf dieses Szenario beziehen sich die möglichen routinemäßigen Normalfälle, auf die die „globale Handlungsorientierung“ bezogen ist. Als erste Anforderung an den Prototyp zur Umsetzung dieser Art der Handlungsorientierung leitet sich ab, daß die Handlungsbausteine, die das WesUF-Aufgabenszenario betreffen, auch vom Prototyp unterstützt werden. Im folgenden wird gezeigt, wie diese Anforderung im WesUF-Prototyp umgesetzt wird.

Technische Unterstützung: Die Darstellung der technischen Unterstützung bei den einzelnen Handlungsbausteinen bezieht sich zunächst auf die Erstellung eines neuen Bearbeitungsprogramms. In den weiteren Ausführungen wird aufgezeigt, wie der WesUF-Prototyp die Werker auch bei der Aneignung eines vorhandenen Programms unterstützt.

Eine Umsetzung der Handlungsorientierung im WesUF-Prototyp besteht darin, daß die Werker bei der Erstellung eines Bearbeitungsprogramms unterstützt werden, indem nahezu alle vorhandenen Informationen direkt, also ohne erneute Dateneingabe, übernommen werden können (Handlungsbaustein 1: Feindisposition/Übernahme). Zu diesen zählen Geometrie, Technologie, Strategie, Werkzeuge, Meß- und Dialogobjekte. Aufwendige und fehleranfällige Dateneingaben werden möglichst reduziert.

Der Ansatz sieht vor, die Geometriedaten aus der Konstruktionsabteilung zu übernehmen. Da in der Regel zur vollständigen Beschreibung der Geometrie drei Dimensionen notwendig sind, wird die Geometrie in

Handlungsbaustein	Handlungsziel	Handlungssequenz
1) <i>Feindisposition/Übernahme</i>	<ul style="list-style-type: none"> Fertigungsoptimale Reihenfolgeplanung (Optimum aus Qualität, Zeit und Aufwand) 	<ul style="list-style-type: none"> Übernehmen der Unterlagen Festlegen der Prioritätenfolge
2) <i>Informationsaneignung</i>	<ul style="list-style-type: none"> Gewinn von Orientierung über die durchzuführenden Bearbeitungen 	<ul style="list-style-type: none"> Vergegenwärtigen von Roh- und Fertigteil Nachvollziehen und Aneignen der Planvorgaben
3) <i>Spannen/Rüsten</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sicherstellung des Bezugs der Aufspannung zum Maschinensystem Möglichst geringe Werkzeugwechselzeiten Möglichst wenig Umspannungen 	<ul style="list-style-type: none"> Festlegen der Aufspannungsfolge Spannen der ersten Aufspannung Bestücken der Maschine mit Werkzeugen Einlesen der Werkzeugdaten Festlegen der Werkstücknullpunkte
4) <i>Bearbeitungsdefinition</i>	<ul style="list-style-type: none"> Fertigungsoptimierte Bearbeitungsstrategie Situationsangepaßte Definition einzelner Bearbeitungsschritte Fertigungsangemessenheit des NC-Programms 	<ul style="list-style-type: none"> Eingeben der Parameter der einzelnen Bearbeitungsschritte Festlegen der Reihenfolge der Bearbeitungsschritte Überprüfen des NC-Programms
5) <i>Zerspanung</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sicherstellung eines anforderungsgerechten Bearbeitungsprozesses Gewährleistung eines situationsadäquaten Optimums aus Bearbeitungszeit, -qualität und Werkzeugverschleiß 	<ul style="list-style-type: none"> Orientieren über die aktuell ablaufenden Bearbeitungsschritte Kollisionskontrolle Optimieren der Technologiewerte
6) <i>Diagnose/Instandhaltung</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit Fertigungsoptimales Störungshandling 	<ul style="list-style-type: none"> Hilfestellung für Instandhalter geben Vornehmen kleinerer Reparaturarbeiten Warten der Maschine
7) <i>Qualitätssicherung</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sicherstellung der Qualitätsanforderungen Klärung der Weiterverwendung von nicht qualitätsgerechten Werkstücken 	<ul style="list-style-type: none"> Manuelles Messen in der Maschine Einbeziehen von Maschinengenauigkeiten (z.B. Wärmegang) Manuelles Messen im Anschluß an die Bearbeitung Interpretieren der Meßprotokolle und

		Abgleich mit dem Programm <ul style="list-style-type: none"> • Einleiten erster Maßnahmen zur Qualitätssicherung
8) <i>Protokollierung/Dokumentation</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung der Weitergabe wichtiger Informationen an Schichtpartner und vor- und nachgelagerte Bereiche • Angemessene Dokumentation für Wiederholungsfall 	<ul style="list-style-type: none"> • Dokumentieren relevanter Fertigungsbedingungen und individueller Erfahrung • Protokollieren des Prozeßverlaufs • Archivieren von Protokollen und Dokumentationen
9) <i>Kommunikation</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Kollektive Lösung von Fertigungsproblemen • Sicherstellung von Erfahrungsaustausch 	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunizieren mit Kollegen und Mitarbeitern • Austauschen

Handlungsbausteine und deren Ziele

dem WesUF-Prototyp als dreidimensionales B-Rep Model (Boundary Representation Model) verarbeitet. Daher ist es vorteilhaft, wenn die CAD-Daten bereits ebenfalls in einem B-Rep Model vorhanden sind. Ansonsten müssen die vorhandenen Daten transformiert und fehlende Informationen aus Zeichnungen ergänzt werden.

Alle benötigten Maße, die zur Informationsaneignung (Handlungsbaustein 2: Informationsaneignung) vom Facharbeiter benötigt werden, kann er aus der Geometrie extrahieren. Zur Zeit werden allerdings Maß- und Formtoleranzen noch nicht aus CAD-Systemen herausgegeben. Aus diesem Grund müssen diese noch aus separaten Zeichnungen entnommen werden. Ebenfalls muß der Bezugsnullpunkt des Werkstücks vom Facharbeiter ergänzt werden.

Um die Aneignung einer unbekannten Geometrie zu vereinfachen und anschaulicher zu gestalten, wird das Werkstück als Volumenmodell in einem Geometriefenster dargestellt. Zur Handhabung der Geometrie stehen einfache CAD-Funktionalitäten wie z.B. Drehen, Zoomen, Verschieben in dem WesUF-Prototyp zur Verfügung. Das Werkstück kann sowohl schattiert als auch als Drahtmodell dargestellt werden.

Wenn die Rohteilgeometrie einfach zu erzeugen ist (z.B. Quader, Zylinder), kann dies der Werker direkt an der Steuerung vornehmen. Bei komplizierten Halbzeugen muß die Rohteilgeometrie extern in einem CAD-System generiert und in das System geladen werden. Roh- und

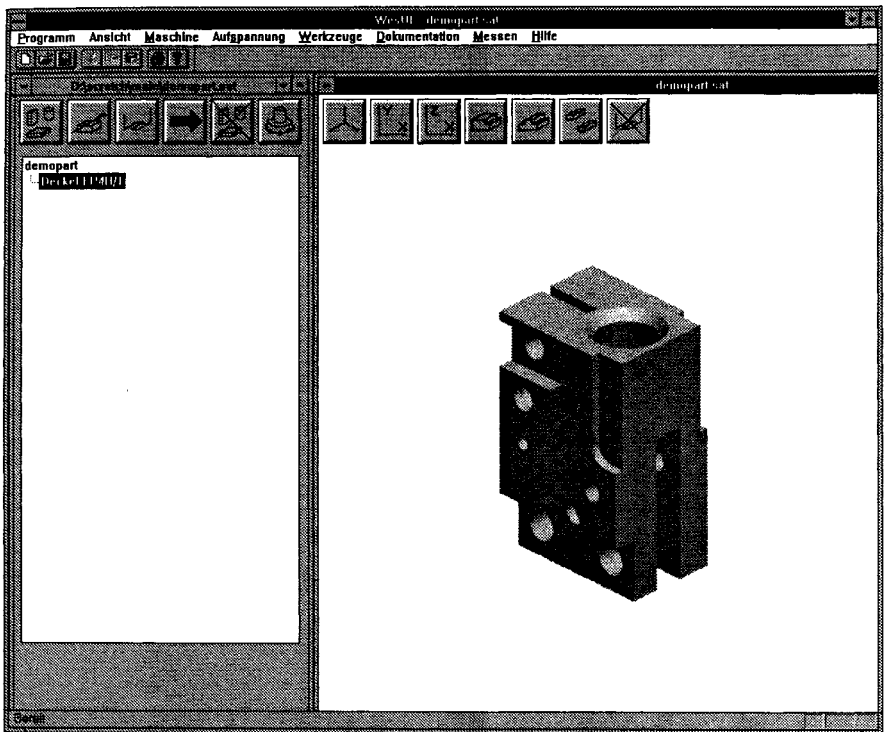


Abb. 2: Geometriedarstellung des Werkstücks im WesUF-Prototyp

Fertigteilgeometrien können durch die eingesetzten Spannmittel ergänzt werden (Handlungsbaustein 3: Spannen/Rüsten). Auch diese werden dann als 3D-Geometrien im System abgebildet.

Um den Arbeitskräften an den Maschinen den Transfer zwischen Realität (Spannsituation und Bearbeitung in der Maschine) und Simulation (programmierte Spannsituation und Prozeß) zu erleichtern, wird der Maschinentisch der eingesetzten Maschine aus der Blickrichtung des Arbeitenden an der Steuerung dargestellt. Dies hat z.B. den Vorteil, daß dann das Rohteil in der Rechnersimulation realitätsnah positioniert werden kann.

Bei der Definition einzelner Bearbeitungsobjekte (BOs) werden die Werker unterstützt, indem aus der Fertigteilgeometrie Flächenbereiche

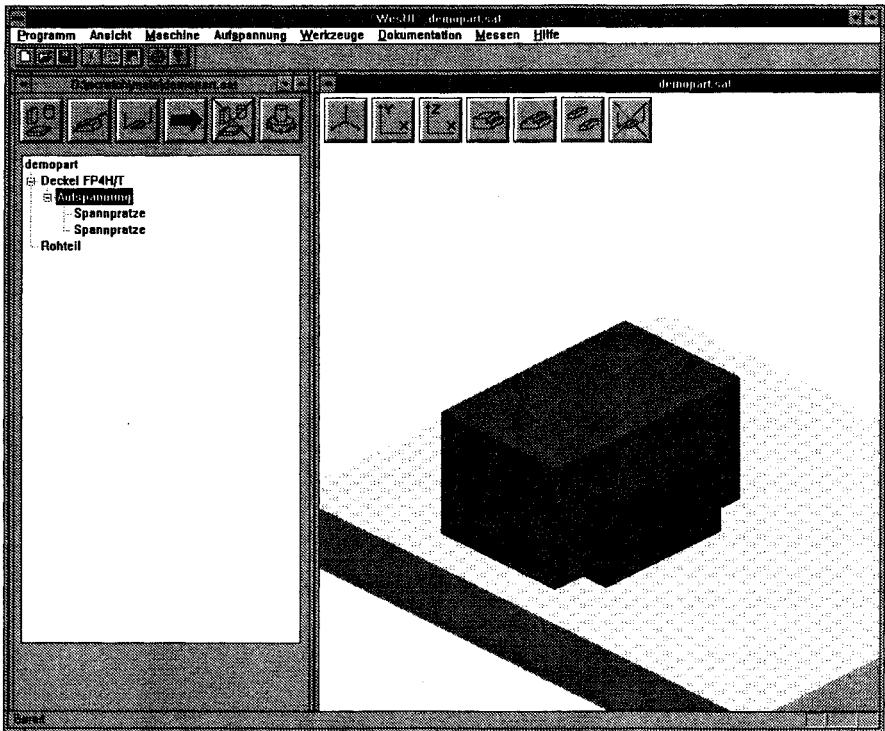


Abb. 3: Darstellung der Aufspannsituation mit Rohteil

selektiert werden, die ein BO begrenzen (Handlungsbaustein 4: Bearbeitungsdefinition). Ausgehend von den ausgewählten Begrenzungsflächen berechnet dann das System das Zerspanvolumen, das sich bis zur Rohteilgeometrie erstreckt. Dabei wird die jeweils veränderte Rohteilgeometrie berücksichtigt. Der Gewinn und Erhalt von Übersicht über die BOs auf seiten der Werker wird durch die Benennung der Objekte nach ihrer fertigungstechnischen Art unterstützt. Die Kategorien sind hier Bohrung, Gewinde, Rechtecktasche, Profiltasche, Kreistasche, Nut und Planfläche. Zusätzlich wird ein manuelles Objekt vorgehalten, das den Werkern die Integration nicht einzuordnender Fälle ermöglichen soll. Die Zuordnung der CAD-Features zu den Bearbeitungsobjekten erfolgt, soweit möglich, automatisch durch den WesUF-Prototyp. In mehrdeutigen Fällen muß der Bediener die Zuordnung aus einer Vorschlagsliste selbst vornehmen. Die erzeugte Geometrie des BOs wird schließlich farblich abgesetzt in

dem Geometriefenster und als Zweig in dem Strukturbaum des Programms dargestellt. Durch die aufeinanderbezogene und gleichzeitige symbolische und grafische Darstellung der Bearbeitungsobjekte wird eine orientierungs- und gedächtnisförderliche Repräsentation auf der Benutzungsoberfläche erreicht.

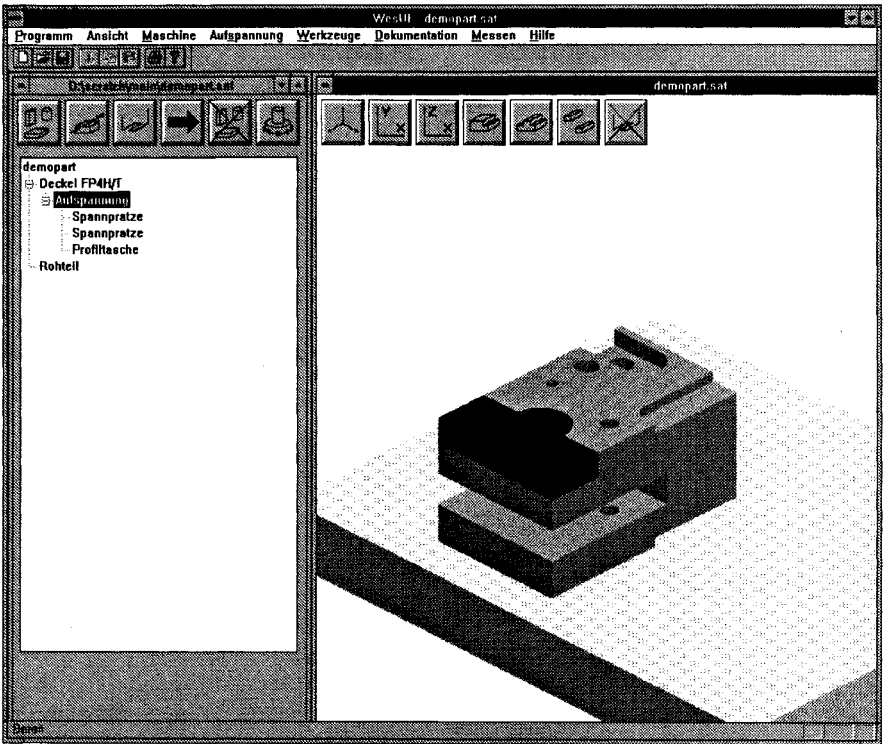


Abb. 4: Definition der Bearbeitungsobjekte

Im Anschluß an die Erzeugung eines geometrischen Bearbeitungsobjekts können die Werker dann die technologischen Bearbeitungsschritte, die zur Fertigung des BOs notwendig sind, ergänzen. Ein Bearbeitungsschritt beinhaltet die Technologie, die Strategie und das Werkzeug, mit dem der Bearbeitungsschritt ausgeführt werden soll. Bei der Auswahl der Schritte sind mehrere Vorgehensweisen möglich: Die benötigten Parameter können so weit möglich aus den gegebenen geometrischen Randbedingungen vom System automatisch abgeleitet und vorgeschlagen werden. Die

Bearbeitungsschritte können aber auch vom Facharbeiter innerhalb des Strukturbaums von einem anderen ähnlichen BO kopiert oder aus einer Vorschlagsliste selektiert werden. In jedem Fall lassen sich alle Parameter von den Werkern unaufwendig manuell verändern. Zur Erhöhung der Sicherheit ist als Option eine automatische Zulässigkeitsprüfung vorgesehen. Durch diese Optionen werden den Workern verschiedene Vorgehensweisen möglich. Hierdurch wird ein individuelles und situationsangepasstes Handeln unterstützt.

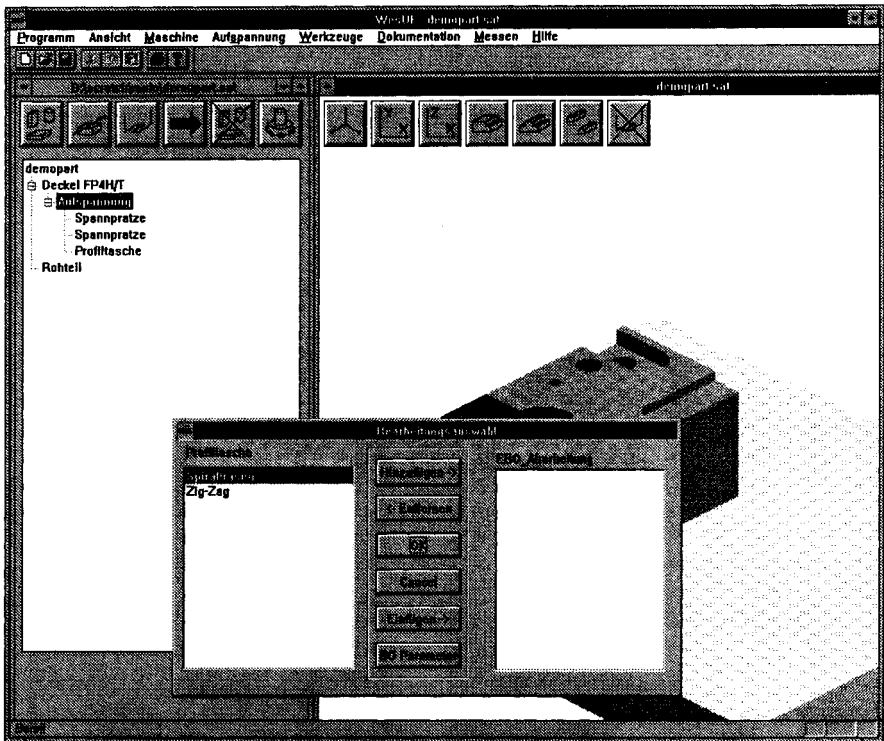


Abb. 5: Definition der Bearbeitungsschritte

Auf diese Weise kann der Facharbeiter sukzessive sämtliche BOs definieren. Die Struktur der Bearbeitungsaufgabe wird im Strukturbaum - übersichtlich nach Aufspannungen sortiert - mit den Bezeichnungen der Bearbeitungsobjekte dargestellt. Diese Struktur stellt allerdings noch nicht die Reihenfolge dar, in der die einzelnen Bearbeitungsschritte des

Programms abgearbeitet werden. Die Bearbeitungsschritte lassen sich daher optional noch nach logischen Sortierungskriterien, wie z.B. Werkzeuge oder kurze Fahrwege, zusammenfassen. Dazu wird ein weiteres Fenster zur Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge eingesetzt. Die Bearbeitungsschritte können vom Facharbeiter aus dem Strukturbaum in der gewünschten Reihenfolge kopiert werden, oder sie können durch Einsatz von Optimierungsalgorithmen automatisch zu einer sinnvollen Reihenfolge zusammengestellt werden.

In den Evaluationen hat sich die Repräsentation der Fahrwege auf der Benutzungsoberfläche als wichtige Unterstützung der Handlungsorientierung erwiesen. Die Fahrwege zwischen den Objekten stellen aus technischer Sicht kein eigenes Bearbeitungsobjekt dar. Sie werden vielmehr als „bounded curve“, also einer begrenzten Kurve, abgespeichert. Im Standardfall ist dies die geradlinige Verbindung zwischen Endpunkt des vorangegangenen Bearbeitungsschrittes und dem Anfangspunkt des darauffolgenden Bearbeitungsschrittes auf der Sicherheitsebene. Dieser Fahrweg wird automatisch generiert. Reicht dem Facharbeiter diese einfache Verbindung nicht aus, kann er den Fahrweg manuell beschreiben. Dabei kann der zugrundeliegende Kurventyp und die Anzahl der Kurvenstücke definiert werden. Diese werden dann ebenfalls in dem Strukturbaum dargestellt. Die Liste der Bearbeitungsschritte stellt zusammen mit der Struktur das eigentliche Programm dar.

Die Eingabe der technologischen und strategischen Parameter der Bearbeitungsschritte durch die Werker ist im WesUF-Prototyp über Eingabemasken realisiert.

Aus den Bearbeitungsschritten und der Geometrie werden vom System die Fahrwege der Maschine berechnet. Dies erfolgt erst zur Laufzeit, wenn die Bearbeitung des Objekts simuliert wird oder tatsächlich an der Maschine erfolgt.

Die erzeugten Objekte können mittels einer Simulation überprüft werden. Als weitere Option ist eine Restvolumenerkennung durch die Berechnung des Zerspanvolumens vorgesehen, um entsprechend weitere notwendige Bearbeitungsschritte zu planen. Mit zunehmender Prozessorleistung wird es in Zukunft auch möglich sein, on line das aktuelle Zerspanvolumen zu simulieren. Eine solche Simulation wurde von den Fachkräften in den Evaluationen immer wieder gefordert.

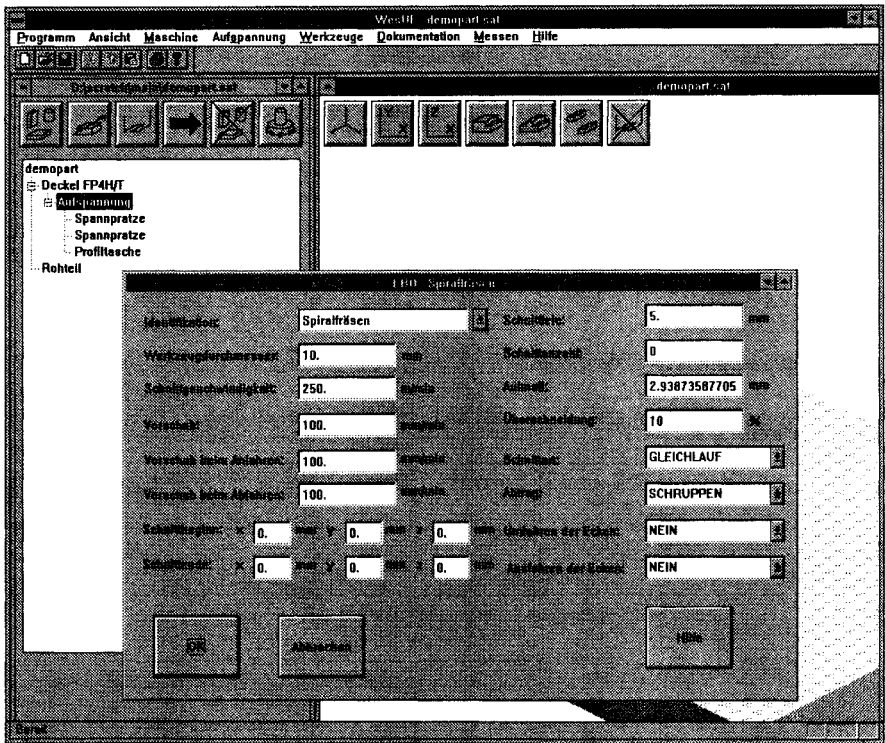


Abb. 6: Eingabe der technologischen Parameter

Durch die Zugriffsmöglichkeit auf sämtliche Planungsdaten des Bearbeitungsobjekts an der Maschine können die Werker das gesamte Programm bezogen auf Technologie, Strategie und Abfolge der einzelnen Bearbeitungsobjekte optimieren. Dabei wird unterschieden, ob die Änderungen temporär (z.B. Werkzeugwechsel infolge eines ausnahmsweise nicht vorhandenen Werkzeuges) oder dauerhaft (z.B. Änderung des Programmablaufs oder der Technologiewerte) sein sollen. Die Werker werden daher nach Eingabe einer Änderung aufgefordert anzugeben, ob diese Änderung dauerhaft abgespeichert werden soll (Handlungsbausteine 4 und 5: Bearbeitungsdefinition und Zerspanung).

Die Bearbeitungsobjekte lassen sich in Zukunft durch zusätzliche Qualitätssicherungskomponenten erweitern. Dadurch können Meßdaten den Objekten zugeordnet werden, um so einen Abgleich zwischen Soll- und

Ist-Bearbeitung durchführen zu können (Handlungsbaustein 7: Qualitätssicherung).

Zur Archivierung wird das Bearbeitungsprogramm STEP-basiert in Form von Objekten abgespeichert. Dabei werden nur die Objekte mit allen benötigten Parametern, nicht aber die Verfahrensanweisungen (NC-Code) gesichert. Nur so kann gewährleistet werden, daß die Programme konsistent bleiben (Handlungsbaustein 8: Protokollierung/Dokumentation).

Der WesUF-Prototyp deckt somit die zuvor ermittelten Handlungsbausteine ab, die während des Normalgangs der Zerspanung von der Übernahme der Planungsdaten bis zur Weitergabe des gefertigten Werkstücks und der Rückdokumentation des optimierten Bearbeitungsprogramms auftreten. Bei der Abarbeitung einzelner Handlungsbausteine treten jedoch typische Handlungsschritte auf, die zugunsten der Darstellung einer technischen Unterstützung der „runden“ Vorgehensweise bisher noch nicht weiter behandelt wurden. Auf die Unterstützung dieser Handlungsschritte wird nachfolgend eingegangen.

1.2 Gewinn eines groben Überblicks über Fertigteil und Bearbeitungsstrategie

Arbeitspsychologische Beschreibung: Die Aneignung der jeweiligen Planungsvorgaben bezieht sich allgemein auf zwei unterschiedliche Formen der Fertigungsorganisation. Zum einen erhält der Werker an der Maschine eine Konstruktionszeichnung, den Arbeitsplan und den Rohling. Aus diesen Planungsgrundlagen erstellt er selbst dann ein NC-Bearbeitungsprogramm und fertigt das Teil. Im anderen Fall erhält der Werker zusätzlich bereits ein fertiges NC-Bearbeitungsprogramm, das z.B. in einer externen Programmierabteilung erstellt wurde. Seine Aufgabe besteht in diesem Fall in der Korrektur und Optimierung des Programms sowie ebenfalls im Fertigen des Werkstücks. In beiden Fällen finden sich kontextstiftende Vorgehensweisen der Fachkräfte bei der Aneignung und Vergegenwärtigung der Planungsvorgaben im Handlungsbaustein 2 (Informationsaneignung).

Ein Vorgehen der Werker liegt hier in der Verschränkung zweier Orientierungsrichtungen bei der Vergegenwärtigung von Roh- und Fertigteil und bei der Planung der nötigen Arbeitsschritte. Beginnend mit der An-

eignung des Fertigteils anhand der Zeichnung überlegen sie ausgehend vom Fertigteil hin zum Rohteil, also „rückwärts“, welche Zerspanschritte notwendig sind. Gleichzeitig stellt das Rohteil jedoch den Ausgangszustand der Fertigung dar, und die Werker stellen sich die Bearbeitung immer in Richtung zum Fertigteil, also „vorwärts“, vor. Jeder neue Definitionszustand in dieser Richtung stellt somit einen neuen Ausgangszustand und damit ein neues aktuelles Rohteil dar. „Rückwärts-“ und „Vorwärtsorientierung“ finden bei der Aneignung der Planungsvorgaben wie auch bei der Festlegung der Bearbeitungsschritte somit eng verschränkt und nahezu parallel statt. Die Bedeutung dieser parallelen Vorwärts- und Rückwärtsorientierung besteht in ihrer kontextstiftenden Funktion: Es entsteht eine grobe aktuelle Vorstellung, was gemacht werden muß, worauf es ankommt und welche kritischen Bearbeitungsabschnitte besonders zu beachten sind. Dadurch wird der Bearbeitungsablauf geordnet. Einzelne Bearbeitungsabschnitte werden in ihrer Bedeutung für die gesamte Bearbeitung und damit in ihrem Bearbeitungskontext gesehen. Die mentale Repräsentation des Bearbeitungsablaufs ist zunächst eher überblicksartig und beinhaltet „grobe“ Bearbeitungseinheiten. Die zunächst grobe Vorstellung des aktuellen routinemäßigen Normalgangs verfeinern die Werker im weiteren Fertigungsverlauf sukzessive.

Bei der Aneignung der in einem vorgegebenen NC-Programm umgesetzten Bearbeitungsstrategie fanden sich in den Analysen des Arbeitshandelns ebenfalls kontextstiftende Vorgehensweisen. Je nach Fertigungsbedingungen und Erfahrungshintergrund vergegenwärtigten sich die Fachkräfte die zugrundeliegende „Bearbeitungsphilosophie“, indem sie das Gesamtbearbeitungsprogramm nach bestimmten Selektionskriterien (z.B. Aufspannung und Werkzeug) hin durchgingen. Durch diese Maßnahme strukturierten sie das Bearbeitungsprogramm und verschafften sich Orientierung.

Als Anforderung an den WesUF-Prototyp leitet sich zusammenfassend die Unterstützung solcher kontextstiftenden Vorgehensweisen bei der Aneignung von Planungsvorgaben wie auch bei der Planung der einzelnen Bearbeitungsschritte ab. Mit der parallelen Vorwärts- und Rückwärtsorientierung sowie den Selektionskriterien konnten zwei Handlungselemente identifiziert werden.

Technische Unterstützung: Die parallele Rückwärts- und Vorwärtsstrategie bei der Aneignung (Handlungsbaustein 2: Informationsaneignung) und bei der Planung der Bearbeitungsschritte (Handlungsbaustein 4: Be-

arbeitungsdefinition) wird durch den WesUF-Prototyp unterstützt, indem die Fertigteil- wie auch die Rohteilgeometrie jederzeit darstellbar sind. Beide Geometrien können als Drahtmodell auch übereinander eingeblendet werden. Weiterhin kann der aktuelle Planungszustand angezeigt werden, indem bei der Darstellung der aktuellen Rohteilgeometrie die Geometrien der definierten BOs von der Rohteilgeometrie subtrahiert werden. Durch den Vergleich der je aktuellen Rohteilgeometrie mit der des Fertigteils ist der Bedarf an BOs einfach zu ermitteln.

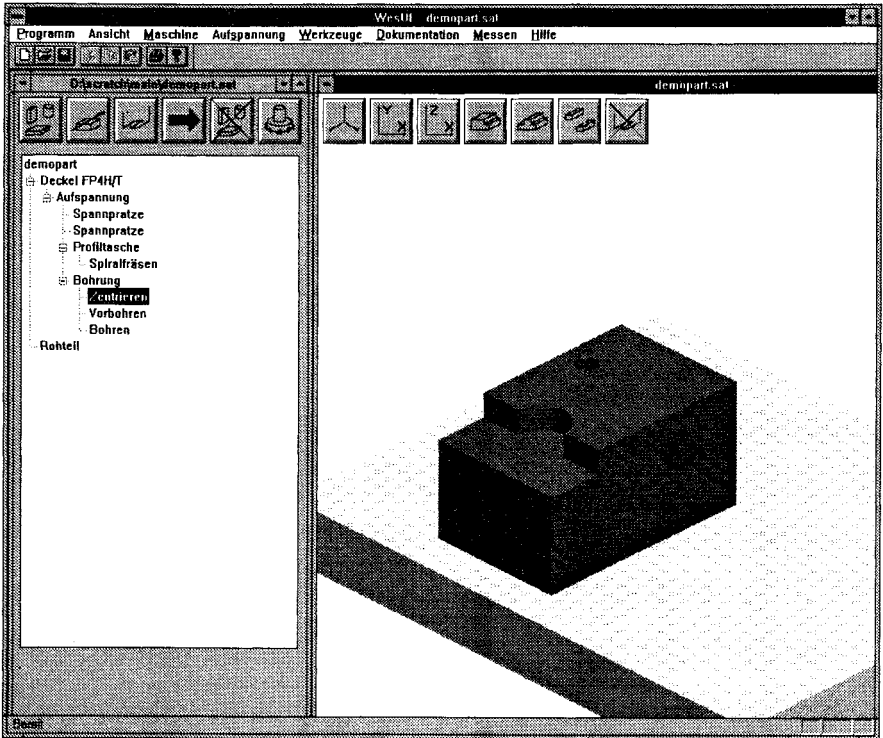


Abb. 7: Aktuelle Rohteilgeometrie

Wie bereits ausgeführt, kann die Reihenfolge der BOs vom Werker frei gewählt werden. Da sich jedoch die Geometrie der BOs immer bis zur aktuell geplanten Rohteilgeometrie erstreckt, hängt diese von der Reihenfolge ab, in der die BOs geplant werden. Bei einer Änderung muß daher eine neue Geometrieberechnung durchgeführt werden. Um die

Übersicht über vollständig geplante und teilweise geplante BOs zu gewährleisten, wird das Objekt nach der vollständigen Planung freigegeben. Der Planungszustand wird farblich gekennzeichnet.

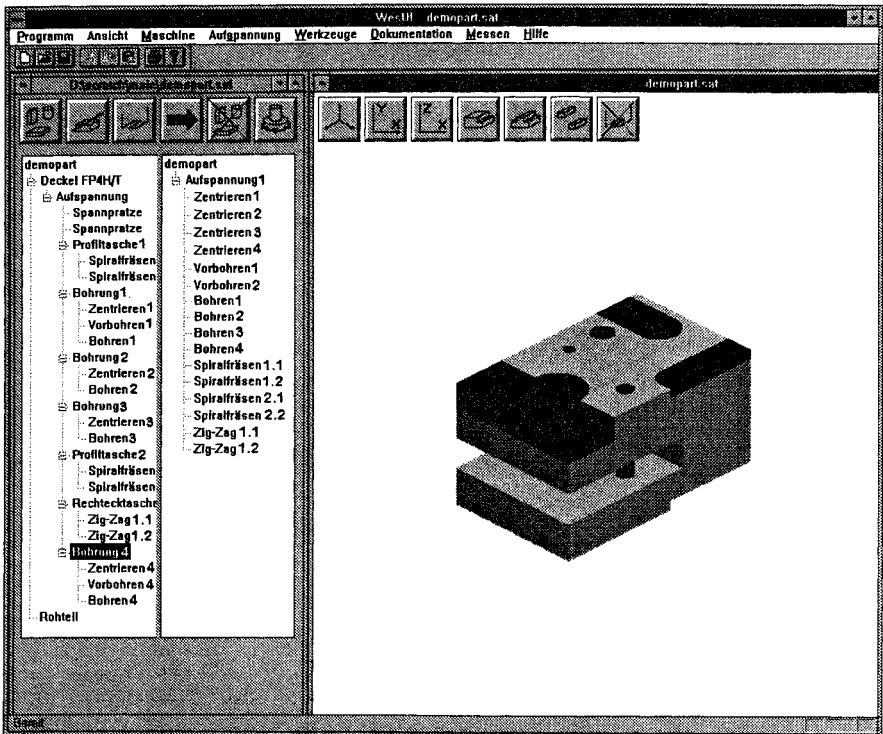


Abb. 8: Parallele symbolische und grafische Anzeige eines selektierten Objekts

Die Aneignung der Bearbeitungsstrategie eines bereits erstellten Programms wird durch den Prototyp auf mehrfache Weise unterstützt. Der Strukturbaum und die Abarbeitungsliste werden beim Einladen des Programms wieder aufgebaut. Ebenso wird die Geometrie des Fertigteils, des Rohteils und der Bearbeitungsobjekte in der Grafik dargestellt. Bei größeren Programmen können wie bei dem Dateimanager unter Windows einzelne Teilbereiche des Strukturbaums expandiert oder komprimiert werden. Damit die Werker die Zuordnung der einzelnen Objekte im Strukturbaum zur Grafik „auf einen Blick“ erkennen können, werden

beide, Geometrie und Zweig im Strukturbaum, bei der Selektion eines Objektes hervorgehoben.

Durch Simulation einzelner oder mehrerer Bearbeitungsschritte können die Werker weiterhin einen Überblick über die Verfahrenswege gewinnen und selbige überprüfen. Die Technologie und Strategie wird in den Parameterfenstern der Objekte angezeigt.

Weitere Hilfsmittel zur Unterstützung der Aneignung des Bearbeitungsprogramms bestehen in der Möglichkeit, das Bearbeitungsprogramm nach Werkzeugen zu sortieren und diese entsprechend in einer Liste darzustellen. Hierdurch wird die eingangs formulierte arbeitspsychologische Anforderung nach Selektionsmöglichkeiten technisch umgesetzt.

1.3 „Denken“ in flexiblen, werkzeugorientierten und verfahrwegsbezogenen Bearbeitungseinheiten

Arbeitspsychologische Beschreibung: Bei der Definition der einzelnen Bearbeitungsschritte und ihrer Abfolge offenbarte sich in den empirischen Untersuchungen, daß die Werker Werkzeuge und die mit ihnen zu bearbeitenden Bearbeitungsflächen wechselseitig aufeinander beziehen. So „richten sich die Werkzeuge nach der Fläche“, und gleichzeitig „richtet sich die Fläche nach dem Werkzeug“. In die Auswahl eines Werkzeugs spielt sowohl die Vorstellung der zu bearbeitenden Flächen als auch die jeweils gegebenen Rahmenbedingungen aus Maschine und Qualitätsangaben hinein. Typischerweise wählen die Fachkräfte eine „Initialfläche“ aus, die als erstes mit einem bestimmten Werkzeug bearbeitet werden soll. Gleichzeitig überlegen sie, welche Flächen mit diesem Werkzeug noch „mitgemacht“ werden können. Solche flexiblen „werkzeugbezogenen Zerspanvolumina“ bilden Einheiten, in denen „gedacht“ wird und die die Orientierung u.a. beim Einfahren liefern. Solche Volumina werden mental offensichtlich als Abfolgen von Werkzeugverfahrwegbewegungen repräsentiert. Die Analyse der Aussagen von Fachkräften legt den Eindruck nahe, daß ein „Bewegungsfluß“ von Werkzeugen vorgestellt wird, beginnend mit dem Anfahren, den Verfahrwegen im Werkstück und endend mit dem Abfahren. Solche Verfahrwegskonturen umfassen oft mehrere Bearbeitungsflächen eines Werkstücks - diese wurden oben unter dem Begriff der „werkzeugbezogenen Zerspanvolumina“ zusammengefaßt und werden teils mit dem Finger am Rohteil veranschaulicht. Deutlich wird, daß die werkzeugbezogenen Vorstellungseinheiten

in der Form von „Bewegungsgestalten“ repräsentiert werden. Die Repräsentation der verfahrwegsbasierten Zerspanvolumina selbst schwankt nach dem subjektiven Eindruck der befragten Fachkräfte zwischen einer zwei- und dreidimensionalen Vorstellung. Entsprechend der Abfolge eines Werkzeugwegs, bestehend z.B. aus dem Anfahren eines Referenzpunktes ca. 2 mm über der zu bearbeitenden Fläche, dem eindimensionalen Eintauchen (in der Z-Achse) und dem zweidimensionalen Bearbeiten in der Ebene (in der X- und Y-Achse), „denken“ die Fachkräfte offenbar das Eintauchen und das Bearbeiten in der Ebene getrennt. Ein Facharbeiter drückte dies exemplarisch als ein Denken in „Punkten und Flächen“ aus: Der „Punkt“ bezeichnet das punktförmige Eintauchen des Werkzeugs in das Material. Mit „Fläche“ bezeichnet er das Verfahren des Werkzeugs bei erreichter Tiefe in der Ebene, z.B. bei einer Tasche. Neben dieser zweidimensionalen Repräsentation von Verfahrenswegen beschreiben die Fachkräfte allerdings auch eine Vorstellung, die einer dreidimensionalen Vorstellung sehr nahe kommt, dies ist z.B. bei Übergängen und Fasen der Fall. Der Wechsel von der 2D- zur 3D-Vorstellung korrespondiert mit dem gleichzeitigen Verfahren des Werkzeugs in allen drei Achsen. Darüber hinaus bezeichneten die Fachkräfte eine 3D-Darstellung von Roh- und Fertigteil als sehr hilfreich für das Aneignen des Fertigteils, während bei der Festlegung der Bearbeitungsschritte eher der Wunsch geäußert wurde, sich 2D-Flächen anzeigen zu lassen.

Aus der Erkenntnis, daß die Repräsentationseinheiten als den Einheiten, in denen die Fachkräfte „denken“, aus zwei- und dreidimensionalen verfahrwegsbezogenen flexiblen Bearbeitungsvolumina bestehen, läßt sich eine Anforderung an den Prototyp ableiten. Es muß zunächst die Option angeboten werden, bei der Festlegung der Bearbeitungsschritte zunächst ein Werkzeug auswählen und diesem dann mehrere Bearbeitungsobjekte und Flächen zuordnen zu können. Weiterhin müssen die Verfahrenswege eines Werkzeugs innerhalb und zwischen den Bearbeitungsobjekten grafisch angezeigt werden. Als letztes muß ein optionales Umschalten zwischen einer 2D- und einer 3D-Ansicht möglich sein. Dadurch werden die Bildung der „werkzeugbezogenen Zerspanvolumina“ und die Vorstellung derselben in der Form von „Bewegungsgestalten“ unterstützt.

Technische Unterstützung: Die Erkenntnis, daß die Werker werkzeugorientiert die Bearbeitung einteilen, birgt Konsequenzen für die Definition der Bearbeitungsobjekte. Dem Werker wird durch den WesUF-Prototyp die Möglichkeit gegeben, zunächst das erwünschte Werkzeug aus einer Liste auszuwählen oder es durch die Angabe von Art und Größe zu defi-

nieren. Anschließend können dann ein oder mehrere Flächenbereiche dem Werkzeug per Mouseclick zugeordnet werden. Aus diesen Angaben werden vom System Bearbeitungsobjekte erzeugt, für die der Werker wiederum Bearbeitungsschritte ergänzt.

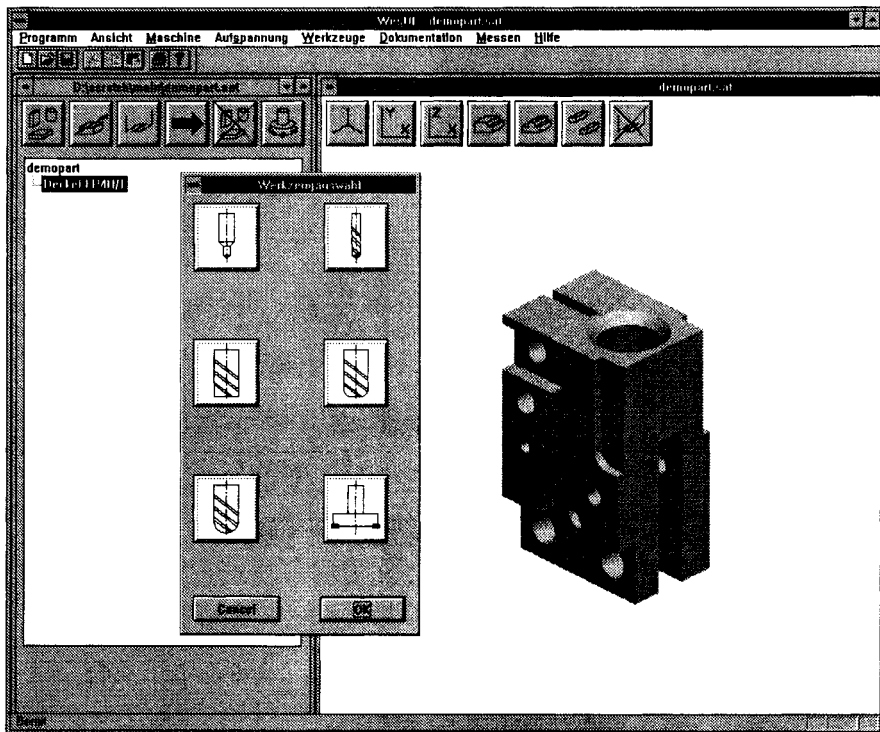


Abb. 9: Werkzeugabhängige Bearbeitungsobjektdefinition

Während momentan die Gestalt der Bearbeitungsobjekte nur aus den geometrischen Begrenzungen der angrenzenden Flächenbereiche definiert wird, müßten in Zukunft dem Facharbeiter Möglichkeiten gegeben werden, bereits definierte Bearbeitungsobjekte in kleinere werkzeugabhängige Einheiten zu zerteilen oder aus verschiedenen einzelnen Bearbeitungsobjekten ein größeres zusammenhängendes Objekt zu bilden. Als Unterstützung der zwei- und dreidimensionalen Vorstellungsbilder dient ein Wechsel der verschiedenen Ansichten 2D und 3D bzw. eine parallele Sicht auf beide Ansichten. Im WesUF-Prototyp ist weiterhin die

Darstellung von Verfahrenswegen auf der Benutzungsoberfläche angedacht. Die Verfahrenswegen zwischen den Objekten stellen aus technischer Sicht kein eigenes Bearbeitungsobjekt dar. Sie werden vielmehr als „bounded curve“, also einer begrenzten Kurve, abgespeichert. Im Standardfall ist dies die geradlinige Verbindung zwischen Endpunkt des vorangegangenen Bearbeitungsschrittes und dem Anfangspunkt des darauffolgenden Bearbeitungsschrittes auf der Sicherheitsebene. Dieser Verfahrensweg wird automatisch generiert. Reicht dem Facharbeiter diese einfache Verbindung nicht aus, kann er den Verfahrensweg manuell beschreiben. Dabei können der zugrundeliegende Kurventyp und die Anzahl der Kurvenstücke definiert werden. Diese werden dann in dem Strukturbaum dargestellt.

1.4 Übergang von der Grob- zur Feinbearbeitung

Arbeitspsychologische Beschreibung: Sowohl die Planung der Werker als auch die Art und Weise der Durchführung der Bearbeitung zeichnet sich allgemein durch ein Vorgehen von einer Grob- hin zu einer Feinbearbeitung aus. So „wird das Überplanen bzw. Schruppen“ von Bearbeitungsoberfläche und Außenkonturen „immer der erste Arbeitsschritt bleiben“. Dies auch deshalb, da von der Außenkontur „die Maße ausgehen“. Ein paßgenaues Schlichten findet häufig erst nach der grobflächigen Schruppbearbeitung statt.

Technische Unterstützung: Der WesUF-Prototyp erlaubt beliebige Reihenfolgen und Zuordnungen, in denen die BOs und die Bearbeitungsschritte abgearbeitet werden. So können jederzeit einzelne Schritte einem Bearbeitungsobjekt zugeordnet oder ergänzt werden. Genauso lassen sich parallel für verschiedene Aufspannungen BOs definieren. Durch diese flexibel mögliche Zuordnung von Bearbeitungsschritten (z.B. Schruppen und Schlichten) zu den geometrischen Bearbeitungsobjekten kann das Vorgehen der Werker von „Grob“ zu „Fein“ auf einfache Weise unterstützt werden.

1.5 Maschinelles Abarbeiten festgelegter Bearbeitungseinheiten

Arbeitspsychologische Beschreibung: In den empirischen Untersuchungen fanden sich bei der Organisation des „Normalgangs“ der Fertigung je nach Fertigungssituation verschiedene Handlungsstile. Bei Fertigung

gen, bei denen die Fachkräfte keine Probleme erwarteten, definierten sie in der Regel den Bearbeitungsabschnitt komplett im voraus und fuhren ihn dann als Ganzes ab. Bei „kniffligen“ Bearbeitungen gingen sie eher in einer Art Teach-Betrieb vor: Sie definierten zunächst einige wenige Verfahrbewegungen, fuhren vorsichtig mit der Maschine ab und definierten auf der Grundlage der erhaltenen Resultate den nächsten Schritt.

Aus diesem empirischen Befund leitet sich die Anforderung nach dem Angebot optional möglicher Wechsel zwischen Planung und Ausführung auf verschiedenen Niveaus und auf kurzem Weg ab. Es muß möglich sein, beim Prototyp sowohl nach einer kleinen Planungseinheit - wie z.B. der Festlegung einer Geraden, die das Werkzeug verfahren soll - als auch nach größeren Planungseinheiten - wie z.B. der Festlegung einer Tasche - in den maschinellen Ausführungsmodus wechseln zu können.

Technische Unterstützung: Kurze Wege zwischen Menüpunkten werden bei der prototypischen Realisierung der Oberfläche verwirklicht, indem Planungs- und Ausführungsfunktionen direkt aufgerufen werden können. Parametermasken der Bearbeitungsschritte werden durch Selektion des Items im Strukturbaum oder direkt bei der Auswahl des Bearbeitungsschritts aufgerufen. Darin kann auf sämtliche technologische und strategische Werte zugegriffen werden.

Infolge der kompakten Informationsstruktur des Bearbeitungsobjekts, bestehend aus der vollständigen geometrischen, technologischen und strategischen Beschreibung, ist es möglich, einzelne Bearbeitungsobjekte direkt nach der Planung zu simulieren oder zu bearbeiten. Man ist nicht, wie bei herkömmlichen Systemen, gezwungen, das Bauteil komplett durchzuplanen und anschließend zu optimieren, sondern kann im Wechsel programmieren und abfahren bzw. testen. So können insbesondere kritische Bereiche des Werkstücks gleich während der Programmerstellung optimiert werden. Die in der Praxis häufig geforderte „Detailprogrammierung beim Einfahren“ kann hierdurch erstmalig realisiert werden.

1.6 Archivierung von Erfahrungswerten

Arbeitspsychologische Beschreibung: Mit der Existenz von „Erfahrungswerten“ konnte ein weiteres Prinzip identifiziert werden, das zur Organi-

sation des „Normalgangs“ beiträgt. Je nach Fertigungssituation und qualitativen Anforderungen legen die Fachkräfte Bearbeitungsverfahren und Technologiewerte fest, die von denen der Hersteller mehr oder weniger abweichen. In diesen „Erfahrungswerten“ sind ein großes Know-how der Fachkräfte und eine Erklärung ihrer Leistung zu sehen, den Bearbeitungsprozeß situationsadäquat einzustellen. Eine Archivierung und Weitergabe von Erfahrungswerten, z.B. zwischen Schichtkollegen, aber auch in vor- und nachgelagerte Abteilungen, wurde von den bisherigen Steuerungen kaum unterstützt. Bisher wurde hier hauptsächlich mit „Papier und Bleistift“ gearbeitet. Dies ist eine Ursache für den Befund, daß in den untersuchten Betrieben häufiger Informationen nur unvollständig weitervermittelt wurden. Mit der Unterstützung der Dokumentation und Weitergabe von Informationen an Schichtkollegen, aber auch an vor- und nachgelagerte Abteilungen ist eine weitere Anforderung an den WesUF-Prototyp identifiziert.

Die Unterstützung der Weitergabe von Informationen hat weiterhin eine Bedeutung für die Verstärkung der abteilungsübergreifenden Kooperation entlang der NC-Verfahrenskette, die in den untersuchten Betrieben als wichtiger Zukunftsbedarf gesehen wurde. Die Verbesserung der Zusammenarbeit z.B. zwischen Konstruktion und Werkstatt wird als Notwendigkeit gesehen. Eine Barriere liegt hier in der unterschiedlichen Ausrichtung des Denkens und Handelns: Während die Konstrukteure eher die spätere Funktion eines Bauteils im fertigmontierten Gesamtprodukt im Blick haben, steht in der Fertigung die fertigungstechnologische Herstellung dieses Bauteils im Vordergrund. Diese Diskrepanz wurde in der Vergangenheit zementiert durch unterschiedliche Werkzeuge. So arbeiten die Konstrukteure mit CAD-Systemen, deren Formate und Features immer noch nicht von den NC-Programmiersystemen übernommen werden können, mit denen die Programmierer und Facharbeiter in der Werkstatt arbeiten. Als Anforderung leiten sich diese nach einer gemeinsamen Sprache in der Fertigung ab. Dies könnte die zur Zeit häufig geforderte, in vielen Betrieben jedoch nicht vorhandene Durchgängigkeit von Produktions- und Steuerungskonzepten über verschiedene Anwendungen und Abteilungen unterstützen.

Technische Unterstützung: Bisher setzt sich ein Bearbeitungsobjekt aus den Komponenten der Geometrie und den Bearbeitungsschritten mit jeweiliger Technologie, Strategie und Werkzeugen zusammen. Um Kommentare an Schichtkollegen weitergeben zu können, müssen in Zukunft

die Objekte um eine Dokumentationskomponente erweitert werden. Bei der Gestaltung der Ein- und Ausgabemedien bieten sich die Möglichkeiten von Multimedia zur Archivierung von Kommentaren z.B. in schriftlicher, auditiver und visueller Form zusammen mit den Programmen an. Als Kommunikationsmedien kommen grafisch selektierbare Auswahllisten mit kritischen Standardsituationen, editierbare Textfelder oder auch Spracheingabemedien in Frage. Die Erkennung der kommentierten Objekte z.B. bei Schichtübergabe kann gewährleistet werden, indem diese z.B. grafisch gekennzeichnet werden. Weiterhin könnten die Kommentare und Zusatzinformationen nach verschiedenen Kriterien gefiltert abgerufen werden.

Das in WesUF entwickelte Informationsmodell ist in der Lage, die abteilungsübergreifende Zusammenarbeit zu verbessern. Es wird ein durchgängiges Informationsmodell zur Verfügung gestellt, das bereichsübergreifend von allen Abteilungen der Prozeßkette verwendet werden kann. Ein großer Vorteil besteht in der Förderung einer einheitlichen Sprache.

2. Technische Umsetzung der situativen Handlungsorientierung

Während sich die globale Form der Handlungsorientierung auf das Vorgehen von Fachkräften bei der Organisation des Normalgangs bezieht, kommt die situative Handlungsorientierung in kritischen Veränderungen oder Störungen des „Normalgangs“ zum Tragen. Unvorhersehbare und unplanbare Veränderungen im Bearbeitungsprozeß stellen „kritische“ Situationen dar, da sie den Fertigungs- und Bearbeitungsprozeß in seiner Qualität potentiell gefährden. Die technische Umsetzung der situativen Art der Handlungsorientierung bedeutet eine große Herausforderung für die technische Gestaltung, da nicht allein die Bewältigung der empirisch ermittelten, bisher kritischen Situationen anvisiert werden darf. Kritische Veränderungen von einem Normalgang entstehen immer wieder neu mit einer je nach den Fertigungsbedingungen variierenden Auftrittswahrscheinlichkeit von ca. 5 bis 15 % (Rose 1995). Somit kommt es vorrangig darauf an, das der Bewältigung von kritischen Arbeitssituationen prinzipiell zugrundeliegende Arbeitshandeln zu unterstützen.

Handlungsvoraussetzungen für die Bewältigung kritischer Situationen liegen hier in (Carus, Schulze 1995):

- der optionalen Zugänglichkeit zu Bearbeitungsinformationen,
- differenzierten Eingriffs- und Veränderungsmöglichkeiten,
- kurzen Wegen zwischen Funktionalitäten, die den Maschinenlauf direkt steuern und jenen der Programmeditierung, und auch
- in Möglichkeiten für ein herantastendes, ausprobierendes Arbeits-handeln.

In bezug auf die Unterstützung der Bewältigung kritischer Situationen durch den WesUF-Prototyp lassen sich mehrere Möglichkeiten unterscheiden:

- Bisher kritische Situationen können prinzipiell nicht mehr auftreten oder werden von den Fachkräften durch die Nutzung des Prototyps in optimaler Weise bewältigt.
- Bisher kritische Situationen treten noch auf, ihre Bewältigung wird durch den Prototyp jedoch nicht unterstützt.
- Es treten neue kritische Situationen auf, die aber mit dem Prototyp bewältigt werden können.
- Es treten neue kritische Situationen auf, bei denen der Prototyp keine Unterstützung bietet.

Im Projekt WesUF wurde im Rahmen der empirischen Untersuchungen in den Betrieben eine umfangreiche Sammlung bedeutsamer kritischer Situationen für die anforderungsgerechte und zeitoptimale Zerspanung erstellt. Diese Situationen sind deshalb kritisch, da die bisherige NC-Steuerungstechnik keine optimale Unterstützung der Bewältigung bietet. Hierfür typische Situationen werden in den folgenden Ausführungen beschrieben, und es wird jeweils gezeigt, wie der Prototyp deren Bewältigung unterstützt. Anschließend werden Situationen benannt, die in Evaluationen des WesUF-Prototyps von den beteiligten Fachkräften als kritisch eingeschätzt wurden. Solche Situationen stellen wir als „neue“ kritische Situationen heraus.

2.1 Unterstützung zur Bewältigung bisher kritischer Arbeitssituationen

In diesem Abschnitt steht die Unterstützung der bisher kritischen Situationen im Vordergrund. Es handelt sich um Situationen, die von den Werkern vor Ort mit der bisher verwendeten Steuerungstechnik auf der Basis der DIN 66025 nicht oder nur unter Zeit- bzw. Qualitätseinbußen bewältigt werden konnten.

2.1.1 Informationen fehlen oder sind beim Fertigungsstart unvollständig

Arbeitspsychologische Beschreibung: Unvollständige Planungsunterlagen zu Beginn einer geplanten Fertigung stellen eine bedeutsame kritische Situation für die untersuchten Betriebe dar: Auch bei fehlenden Konstruktionszeichnungen oder noch nicht erstelltem NC-Programm muß die Fertigung in bestimmten Fällen bereits begonnen werden, um getroffene Vorgabetermine einhalten zu können. In einem solchen Fall müssen Facharbeiter die Fertigung auf der Grundlage unvollständiger Informationen planen und beginnen. Die bisherigen NC-Steuerungssysteme unterstützen eine solche Situation nur mangelhaft. In diesem Zusammenhang muß der Prototyp eine Unterstützung anbieten, so daß mit ihm in den allermeisten Fällen die Teilefertigung mit möglichst wenig Aufwand begonnen werden kann.

Technische Unterstützung: Die kritische Situation „unvollständige Informationen bei Fertigungsstart“ basiert bei herkömmlichen Systemen darauf, daß Informationen aus den vorgelagerten Bereichen auf getrennten Wegen in die Fertigung gelangen. Demgegenüber wird bei WesUF ein gemeinsames Informationsmodell verwendet. Dadurch ist gewährleistet, daß zu jeder Zeit sämtliche Informationen zur Verfügung stehen, die bis zu diesem Zeitpunkt definiert wurden. Fehlende Teile oder noch nicht definierte Bearbeitungsobjekte können von den Werkern in der Fertigung leicht ergänzt werden, da es grundsätzlich möglich ist, auf alle benötigten Planungsdaten wie Geometrie, Maschinen und Werkzeuge zuzugreifen.

2.1.2 Überblick und Aneignung sind durch sehr große und intransparente NC-Programme erschwert

Arbeitspsychologische Anforderung: Der Gewinn eines Überblicks über festgelegte Bearbeitungsschritte und die Aneignung der Bearbeitungsstrategien sind nach übereinstimmender Aussage aller befragten Werkstattmitarbeiter anhand von NC-Programmen auf der Grundlage von DIN 66025 prinzipiell erschwert. Bisherige NC-Programme zeichnen sich durch Intransparenz aus. Vor allem bei einer hohen Komplexität der mittels NC-Verfahrenweisungen festgelegten Bearbeitung ist die Aneignung der Bearbeitungsstrategie sehr aufwendig, z.B. infolge

- der unübersichtlichen Darstellung der Parameter, die zudem von verschiedenen Programmiersystemen unterschiedlich belegt werden,
- der schlechten Lesbarkeit durch mangelhafte Strukturierung,
- des Fehlens von Informationen über das „Warum“ von Bearbeitungsschritten (eine Kommentierung ist eine „Kann-Option“ und nicht informatorischer Bestandteil des NC-Programms),
- des fehlenden Angebots von Separiermöglichkeiten nach bestimmten Kriterien (z.B. Aufspannung, Werkzeuge etc.).

Kritisch ist diese Intransparenz infolge des zeitlichen Aufwands, den die Aneignung deshalb in Anspruch nimmt. Weiterhin ist die Gefahr gegeben, daß die Fachkräfte ein falsches Bild von der Bearbeitungsstrategie gewinnen und dadurch Optimierungspotentiale verschenkt werden.

Technische Unterstützung: Das objektorientierte Informationsmodell bietet vielfältige Strukturierungsmöglichkeiten des Bearbeitungsprogramms auf der Benutzungsoberfläche. Das „Programm“ beim WesUF-Prototyp ist, wie bereits ausgeführt, in semantischen Einheiten wie z.B. Taschen oder Bohrungen strukturiert. Dadurch wird die beinhaltete Bearbeitung bereits offensichtlich. Die Zuordnung, in welchen Aufspannungen die einzelnen Objekte bearbeitet werden, ist durch den Strukturgraphen dargestellt. Die Reihenfolge ist in der Abarbeitungsliste gegeben. Durch die Verbindung des Strukturgraphen mit der Geometrie wird die Orientierung, wo die einzelnen Zerspanvolumen liegen, auf einen Blick möglich (s. auch 1.2). Durch diese Repräsentationsmöglichkeiten sind Orientierung und Überblick über den definierten Bearbeitungsablauf schneller, einfacher und anschaulicher möglich.

2.1.3 Maßkoordinaten im NC-Programm weichen von Maßen in der Zeichnung ab oder sind nur aufwendig nachvollziehbar

Arbeitspsychologische Beschreibung: Der Zusammenhang zwischen den Maßen in der Konstruktionszeichnung und denjenigen im NC-Programm ist nur aufwendig nachvollziehbar. Weiterhin kommt es u.a. durch Eingabe- und Übertragungsfehler zu falschen Maßen im NC-Programm, die entweder mühsam erkannt werden müssen oder aber später zu mitunter beträchtlichen Folgefehlern führen können. Grundsätzlich besteht bei den Werkern eine große Befürchtung, daß sich „Tippfehler“ bei der Eingabe von Werten in die Steuerung einschleichen.

Technische Unterstützung: Da beim WesUF-Prototyp direkt auf die Konstruktionsdaten zugegriffen wird, ist eine fehlerhafte Maßeingabe ausgeschlossen. Eine Umrechnung von den Konstruktionsdaten auf die Koordinaten des Planungssystems oder der Maschine entfällt, da nach außen für den Bediener nur ein Koordinatensystem verwendet wird. Die Umrechnung auf Maschinenkoordinaten erfolgt intern durch einen Postprozessor automatisch. Dadurch sind Abweichungen zwischen Maßen in Zeichnung und Bearbeitungsprogramm prinzipiell ausgeschlossen.

2.1.4 Abweichungen der aktuellen, situativen Fertigungsbedingungen von den Vorgaben im Programm

Arbeitspsychologische Beschreibung: Generell sind Abweichungen der geplanten Bearbeitungssituation von der tatsächlich vor Ort realisierten Situation immer möglich und kommen in den Betrieben alltäglich vor. Kritisch werden diese Situationen dadurch, daß sowohl die Erkennung des Unterschieds als auch die nachträgliche Angleichung der im NC-Bearbeitungsprogramm beschriebenen Fertigungssituation an die Ist-Situation erschwert sind. Folgende Faktoren stellten sich in den empirischen Untersuchungen als relevante Größen heraus:

(a) Spannelemente befinden sich am Werkstück an anderen Stellen als vorgesehen. Da die Lage der Spannelemente und die darauf abgestimmten Verfahrrwege nicht rechnerintern verknüpft sind, ist die Bedeutung veränderter Aufspannung für die Verfahrrwege nicht ohne weiteres erkennbar. Auch wird die Veränderung der Verfahrrwege technisch nicht weiter unterstützt.

(b) Geplante Werkzeuge sind nicht verfügbar oder sind nicht fertigungsoptimal. Durch fehlende Separiermöglichkeiten wird nicht schnell ersichtlich, an welchen Stellen dieses Werkzeug nochmals eingesetzt wird. Den Werkern ist ein Überblick über vorhandene Alternativwerkzeuge kaum möglich. Eine Unterstützungsmöglichkeit bestünde hier z.B. im Zugriff auf Werkstattinformationssysteme.

(c) Die im Bearbeitungsprogramm zugrundegelegten Werkstückmaße weichen von den tatsächlichen ab. Der Abgleich erfordert erheblichen Übersetzungsaufwand, da diese Maße kodiert und in der Form von Verfahrenswegen abgebildet werden müssen.

(d) In externen Abteilungen geplante und im NC-Programm definierte Bearbeitungsfolgen erweisen sich im Moment der maschinellen Abarbeitung als nicht fertigungsoptimal. Kritisch im Sinne von zeitaufwendig wurde hier von den Fachkräften insbesondere die aufwendige Durchführung kurzfristiger Bearbeitungsänderungen im NC-Programm beurteilt. Dies geht zur Zeit - wenn überhaupt - nur über umständliche Möglichkeiten des Verschiebens von NC-Sätzen, darüber hinaus gibt es z.B. noch keine Möglichkeit, Bearbeitungsgänge eines Werkzeugs zusammenzufassen.

(e) Mangelhafte Übertragbarkeit eines maschinenspezifischen Bearbeitungsprogramms auf eine andere Maschine.

Das Einfahren von Bearbeitungsprogrammen wird generell von den Werkstattmitarbeitern als „kritischer“ und sehr fehlerträchtiger Bearbeitungsabschnitt beurteilt. Infolge der informationstechnisch in herkömmlichen NC-Programmiersystemen nicht möglichen Berücksichtigung von Aufspannung und aktuellem Rohteil im NC-Programm sind Kollisionen zwischen Werkzeug und Werkstück bzw. zwischen Werkzeug und Maschinenteil prinzipiell immer möglich. Auch eine vorherige Simulation des programmgemäßen Bearbeitungsablaufs ist hier nur eine kleine Hilfe, da die Maschinenverhältnisse und das tatsächliche Werkstück nicht miterfaßt werden. Bei Abweichungen der geplanten von der tatsächlich realisierten Aufspannung müssen die programmierten NC-Verfahrenswegen mühsam an die neue Aufspannsituation angepaßt werden.

Die Vermeidung von Kollisionen bezeichnen die Werker als wichtige Aufgabe beim Einfahren. Zumeist fahren sie im Einzelsatz ein - das Werkzeug bleibt hier in einer Position von einigen Millimetern vor dem

Materialeingriff stehen, so daß Zeit bleibt, den tatsächlichen Abstand mit dem im Programm vorgesehenen zu vergleichen. Dieses Vorgehen ist zeitaufwendig und stellt bei hohem Produktionsdruck auch eine beträchtliche psychologische Belastung dar.

Technische Unterstützung: Während bei bisherigen Systemen kurzfristige Bearbeitungsänderungen zu aufwendigen abteilungsübergreifenden Maßnahmen führten, kann bei dem WesUF-Prototyp vor Ort die Änderung vorgenommen werden. Da im Objekt sämtliche Planungsdaten vorhanden sind, können diese auch entsprechend geändert werden. Die neuen Verfahrensanweisungen (zur Zeit noch NC-Code) beinhalten auch diese Änderungen, da diese erst zum Zeitpunkt der Simulation oder Bearbeitung erzeugt werden.

Der WesUF-Prototyp sieht die Möglichkeit vor, den laufenden Bearbeitungsprozeß zu unterbrechen. Die aktuelle Bearbeitungsposition wird von der Maschinensteuerung an den WesUF-Prototyp zurückgemeldet. Damit läßt sich das bereits abgetragene Zerspanvolumen über die verfahrenre Strecke und das Werkzeugvolumen berechnen. Für die weitere Bearbeitung kann somit ein temporäres Bearbeitungsobjekt in das Programm eingefügt werden, das das restliche Zerspanvolumen enthält. Zum Ab- und Anfahren werden spezielle Strategien eingesetzt. Auch in diesem Fall muß das Programm nicht aufwendig durch spezielle NC-Sätze erweitert werden, da die Verfahrwege erst zur Laufzeit generiert werden.

Die bisher kritische Situation „Kollision zwischen Werkzeug und Aufspannmittel“ ist im WesUF-Prototyp prinzipiell nicht mehr möglich. Bei dem WesUF-Prototyp kann die aktuelle Spannsituation abgebildet werden (s. auch Abb. 3).

Die Spannelemente werden als nicht verletzbares Kontur gekennzeichnet, so daß der NC-Kern automatisch die NC-Bahnen kollisionsfrei um die Spannelemente herumlegt. Durch die integrierte Simulation läßt sich vorab die Kollisionsfreiheit verifizieren.

Während bei herkömmlichen Systemen Änderungen der Positionen von Spannmitteln häufig Änderungen der Verfahrwege nach sich zogen, die nur durch erheblichen Editieraufwand oder eine erneute Generierung des Programms in der AV realisiert werden konnten, brauchen in dem

WesUF-Prototyp nur die veränderten Positionen der Spannmittel übernommen zu werden. Der eingesetzte NC-Kern generiert dann die gewünschten NC-Bahnen in Beziehung zu den Spannmitteln automatisch.

2.1.5 Mangelnde Prozeßkontrolle für den Werker an der Maschine

Arbeitspsychologische Beschreibung: Die Kontrolle des Werkers über den computergesteuerten Bearbeitungsprozeß ist an herkömmlichen CNC-Werkzeugmaschinen nur eingeschränkt möglich. Zum einen resultiert dies aus der mangelnden Prozeßtransparenz an solchen Maschinen infolge der schlechten Wahrnehmbarkeit relevanter Prozeßinformationen. Insbesondere die Verkapselung wirkt hier als Output-Barriere, indem sie bedeutungshaltige visuelle, akustische, kinästhetische und olfaktorische Indikatoren dämpft oder ganz zurückhält (Bolte u.a. 1993). Zum anderen resultiert die eingeschränkte Prozeßkontrolle des Werkers aus den limitierten Eingriffsmöglichkeiten. Insbesondere ein zerstörungsfreies Unterbrechen der Bearbeitung im Sinne eines Herausfahrens aus dem Schnitt, ohne die Kontur zu verletzen, sowie ein Wiederauffahren an eben der unterbrochenen Stelle auch innerhalb eines Zyklus sind mit den herkömmlichen Steuerungen nur begrenzt möglich. Kritisch ist die eingeschränkte Prozeßkontrolle für die Qualität der Bearbeitung, da die Fachkräfte ihr Leistungsvermögen, Störungen zu antizipieren und vorausschauend zu handeln, nicht in vollem Maße entfalten können. Dadurch kommt es zu vermeidbaren Unterbrechungen des Bearbeitungsprozesses und zu Qualitätseinbußen.

Technische Unterstützung:

(a) Unterstützung der Prozeßtransparenz: Durch die Beschreibung der Bearbeitung in Objekten ist es möglich, an die einzelnen Objekte spezifische Rückmeldeoptionen fest anzukoppeln, z.B.

- Einsatz eines Körperschallsensors (Carus u.a. 1993),
- Einsatz und Initialisierung eines kraftrückgekoppelten Overrides (Klimmer u.a. 1994),
- Kraftmessung und -anzeige,
- Wärmeganganzeige,
- Anzeige des Werkzeugverschleißes,

- Anzeige Ist-Position und/oder Restwege (optional numerisch, 2D-grafisch, prozentual),
- Anzeige Zerspan- und/oder Restvolumen,
- Visualisierung von Bearbeitungsschritten,
- Visualisierung von Werkzeugstrategien,
- Simulation der Verfahrbewegungen.

Diese Prozeßrückkopplungen können auch während des Einfahrens hinzu- oder abgewählt werden. Ebenso kann die Bildschirmmaske beim Einfahren/Überwachen vom Facharbeiter konfiguriert werden.

(b) Durch das objektorientierte Informationsmodell werden wichtige On-line-Eingriffsmöglichkeiten angeboten:

- Für jedes BO können werkzeugspezifische Rückzugsstrategien definiert werden. Durch das mitgeführte 3D-Geometriemodell „weiß“ die Steuerung immer, welche Volumen bereits zerspannt sind. Dadurch ist dann durch „Knopfdruck“ ein zerstörungsfreies Herausfahren des Werkzeugs möglich.
- Ein Wiederanfahren wird genau an der Stelle des Bearbeitungsabbruchs möglich.
- Durch die Einbindung manueller Bearbeitungsobjekte wird es möglich, an jeder Stelle der Bearbeitung eine manuelle Bearbeitung einzufügen.
- Eine Veränderung der definierten Technologiewerte kann während der Bearbeitung durch Veränderung der Parameter und Attribute der einzelnen Objekte erfolgen. Damit sind die geänderten Technologiewerte sofort gespeichert und verfügbar.

2.1.6 Kein oder schlechter Bezug der Meßpunkte der automatischen Messung zu NC-Sätzen

Arbeitspsychologische Beschreibung: In den Betrieben fand sich die kritische Situation, daß der Abgleich zwischen Meßprotokoll und Bearbeitungsprogramm - bezogen auf eine in die Prozeßkette integrierte Meßmaschine, aber auch bezogen auf die Zusammenarbeit mit einer nachgelagerten Meßabteilung - wenn überhaupt nur mit viel Aufwand möglich

war. Dies liegt an der Verwendung unterschiedlicher Programmlogiken in einer NC-Meßmaschine und in der NC-Werkzeugmaschine: Das Meßprogramm ist bezogen auf Meßobjekte, während das Bearbeitungsprogramm (bisher) werkzeug- und verfahrwegsbezogen ist.

Technische Unterstützung: An die Bearbeitungsobjekte lassen sich prinzipiell Meßobjekte ankoppeln. Dadurch entsteht eine Kompatibilität der Beschreibungen von Bearbeitung und Messung. Aus der Objektstruktur erwachsen verschiedene Editiermöglichkeiten:

- An BOs lassen sich spezifische Meßobjekte assoziieren.
- Solche Meßobjekte können auch auf manuellem Wege bestimmt werden.

2.1.7 Aufwendige Ursachenanalyse bei Maßungenauigkeiten

Arbeitspsychologische Beschreibung: Komplexe Zusammenhänge zwischen Fehler und Ursache erschweren die Interpretation von Maßabweichungen. Maßabweichungen können verschiedene Ursachen haben (z.B. Programmierfehler, Spannprobleme, Spannverzug, Werkzeugverschleiß, Wärmegang etc.). Kritisch ist die Situation vor allem infolge einer mangelhaften Prozeßprotokollierung: Der Einfluß der einzelnen Faktoren auf das Bearbeitungsergebnis läßt sich nicht beurteilen. So können z.B. Maßungenauigkeiten der Maschine nur sehr aufwendig berücksichtigt werden. Eine Hilfe wäre, wenn Maßveränderungen der Maschine durch die sukzessive Erwärmung der Maschine (Wärmegang) gemessen und angezeigt würden.

Technische Unterstützung: Durch ein dazugeschaltetes Fehlerkompensationsmodell werden maschinenspezifische Fehler ausgeglichen. Diese Kompensationsmodelle werden maschinenabhängig in den WesUF-Prototyp geladen. Zur Laufzeit werden die Steueranweisungen, die aus den NC-Sätzen resultieren, modifiziert.

Durch die Objektstruktur können verschiedene Fehlermöglichkeiten registriert und dem Facharbeiter rückgemeldet werden, z.B. können maschinenseitige Störeinflüsse bei der Zerspanung und technologische Unmöglichkeiten von der Steuerung angezeigt werden.

Werden die Bearbeitungsobjekte um Meßkomponenten erweitert, die wiederum den gleichen Geometrie kern verwenden, sind sowohl graphische als auch numerische Messungen leicht auszuwerten.

2.2 Neue kritische Situationen

Die Beispiele für „neue“ kritische Situationen stammen aus ersten Evaluationen des WesUF-Prototyps mit Facharbeitern. Erst der Praxiseinsatz wird in Zukunft zeigen, wo weitere kritische Situationen beim Einsatz einer objektorientierten Steuerung liegen werden.

2.2.1 Der NC-Code als Manipulationsmedium fällt weg

Arbeitspsychologische Beschreibung: Der NC-Code nach DIN 66025 wurde von den Facharbeitern an den CNC-Wzm trotz der genannten Schwächen (Intransparenz, Informationsverlust) sehr geschätzt. Er stellt eine Schnittstelle zwischen Verfahrenweisung und Maschinenbewegung zur Verfügung. Da die Verfahrensbewegungen in Koordinaten ausgedrückt werden, besteht eine nachvollziehbare Transformation der symbolischen Anweisung in eine Maschinenbewegung. Diese Form der direkten Transformation ermöglicht den Fachkräften eine als „sicher“ eingeschätzte Manipulation im DIN-Code, da jede Änderung im Code eine nachvollziehbare Änderung einer entsprechenden Maschinenbewegung nach sich zieht (Bolte 1993). Wenn die DIN 66025 nun durch eine informationstechnisch höherwertige Norm (mit allen ihren Vorteilen) abgelöst wird, ist die Frage, wie hier eine solchermaßen „sichere“ Manipulation unterstützt werden kann.

Technische Unterstützung: Im Grunde ist eine Manipulationsmöglichkeit einzelner NC-Sätze von seiten der vorgelagerten Arbeitsplaner heute nicht erwünscht, da in diesem Fall die Rückdokumentation in Arbeitsplansysteme unmöglich wird. Hier bietet der WesUF-Prototyp Lösungen auf einer höheren Beschreibungsebene, indem lokale Änderungen eines Bearbeitungsabschnitts zugelassen werden. Eine Möglichkeit besteht darin, den gewünschten Bereich, z.B. eine NC-Bahn, von dem restlichen Bearbeitungsschritt zu isolieren, um so für diese eine Bahn andere Technologieparameter angeben zu können. In diesem Fall wird diese Bahn zu einem eigenen Bearbeitungsobjekt, das eingebettet in dem gesamten Bearbeitungsobjekt liegt.

2.2.2 Festlegung von nicht vorgesehenen Bearbeitungsobjekten

Arbeitspsychologische Beschreibung: Bei der Konzeption der Bearbeitungsobjekte wurde davon ausgegangen, daß mit ihnen ca. 80 bis 95 % der auftretenden Bearbeitungen abgebildet werden können. Eine ganz wichtige Anforderung besteht nun in den Bewältigungsmöglichkeiten für den Fall, daß an einem Werkstück eine Kontur ausgeführt werden soll, für die bisher kein Bearbeitungsobjekt vorgesehen ist. Solche Situationen werden mit einer Wahrscheinlichkeit von immerhin 5 bis 20 % erwartet.

Technische Unterstützung: Um dennoch ein vollständiges Programm erzeugen zu können, ist im WesUF-Prototyp ein „manuelles Objekt“ vorgesehen. Bei diesem werden einzelne Verfahrensweg als Polylinie abgelegt, die manuell programmiert werden. Mit dem Werkzeugvolumen läßt sich aus den Verfahrenswegen das überstrichene Zerspanvolumen berechnen, das die Geometrikomponente des „manuellen Objekts“ beinhaltet. Technologieparameter werden wie bei den Standardobjekten mittels Parametermasken definiert. Ebenso wird die gewünschte An- und Abfahrstrategie über Parametermasken ergänzt.

3. Zusammenfassende Bewertung

Mit der Differenzierung der Handlungsorientierung in eine globale Form, die auf einen routinemäßigen Normalgang ausgerichtet ist, und in eine situative Form, die auf kritische Veränderungen bezogen ist, konnte im Projekt WesUF ein in zweierlei Hinsicht hilfreiches theoretisches Konstrukt auf der Grundlage des empirischen Datenmaterials entwickelt werden. Zum einen ermöglicht es die differenzierte Beschreibung und Abbildung des Arbeitshandelns von Werkern an CNC-Werkzeugmaschinen bei der Bewältigung der Zerspanungsaufgabe „Fräsen“. Zum anderen ermöglicht es die Formulierung von Anforderungen an eine Technik mit dem Ziel der Unterstützung des konkreten Arbeitshandelns der Werker „vor Ort“. Um diesem Ziel zu entsprechen, muß die Technik sowohl die „globale“ Art der Handlungsorientierung bezogen auf die Entwicklung eines routinemäßigen Normalgangs als auch die „situative“ Art der Handlungsorientierung bezogen auf die Bewältigung kritischer Situationen unterstützen. Die beiden Arten der Handlungsorientierung konn-

ten soweit präzisiert und operationalisiert werden, daß sie eine Orientierung und konkrete Hilfestellung für die Entwicklung der im WesUF-Prototyp realisierten technischen Lösung liefern.

Die bisherigen Evaluationen einer PC-Bildschirmvariante des Prototyps mit Facharbeitern zeigen, daß mit dem Prototyp sowohl die „Normalfertigung“ (ca. 80 % der Fälle) als auch ein Großteil der bisher kritischen Situationen (ca. 5 bis 20 % der Fälle) komfortabler und mit weniger Aufwand von den Werkern vor Ort bewältigt werden können. Der Prototyp unterstützt wichtige Prinzipien der Umsetzung eines routinemäßigen Normalgangs, indem er

- einen schnellen und weniger aufwendigen Überblick über Fertigteil, Rohteil und deren Zusammenhang liefert,
- das Vorgehen von „Grob“ zu „Fein“ sowohl bei der Planung als auch bei der Ausführung erleichtert,
- die Festlegung flexibler, werkzeug- und verfahrenswegsbezogener Bearbeitungseinheiten durch die objektorientierte Struktur zuläßt,
- über das Angebot kurzer Wege zwischen Planung und Ausführung ein situationsangepaßtes Abarbeiten der festgelegten Bearbeitungseinheiten ermöglicht und
- die Sammlung und Weitergabe von Erfahrung über die informationstechnische Verknüpfung von Dokumentationsobjekten mit den Bearbeitungsobjekten unterstützt.

Darüber hinaus ist der Prototyp in der Lage, eine Reihe kritischer Situationen zu entschärfen, wie sie bei der Arbeit mit bisherigen NC-Steuerungssystemen in den empirischen Untersuchungen zu Tage traten. Durch Selektionsmechanismen kann der Gewinn eines Überblicks und einer Orientierung über ein Bearbeitungsprogramm erleichtert werden. Durch die Bearbeitungsobjekte können kurzfristige Bearbeitungsänderungen und damit eine einfach handhabbare Anpassung der geplanten Fertigungssituation an die aktuell vorliegende Situation erreicht werden. Die Kontrolle des Werkers über den Bearbeitungsprozeß läßt sich durch die Assoziation von „Transparenzobjekten“ sowie durch erweiterte Eingriffsmöglichkeiten wie z.B. des zerstörungsfreien Herausfahrens aus der Kontur inklusive des punktgenauen Wiederanfahrens erhöhen. Die Möglichkeit der Kopplung von Bearbeitungsobjekten mit Meßobjekten

ist durch eine Kompatibilität und eine Integration von Bearbeiten und Messen prinzipiell herstellbar.

Die Evaluationen haben gezeigt, daß die technische Umsetzung der globalen und der situativen Art der Handlungsorientierung, wie sie im WesUF-Prototyp realisiert wurde, in die richtige Richtung geht. Hierdurch konnten wesentliche Nutzeranforderungen in die Entwicklung des Prototyps eingehen. Das Ausmaß der Eignung des Prototyps, mit der das Handeln der Werker vor Ort unterstützt werden kann, wird sich allerdings erst in umfangreichen Praxistests zeigen.

Literatur

- Böhle, F.; Carus, U.; Schulze, H.: Manuelle Steuerung von CNC-Werkzeugmaschinen - Ein zukunftsweisender Ansatz für die steuerungstechnische Entwicklung. In: VDI-Z, Heft 3, 135. Jg., 1993, S. 14-20.
- Bolte, A.: Planen durch Erfahrung: Arbeitsplanung und Programmerstellung als erfahrungsgeleitete Tätigkeiten von Facharbeitern mit CNC-Werkzeugmaschinen, Institut für Arbeitswissenschaft, Kassel 1993.
- Bolte, A.; Carus, U.; Schulze, H.; Striepe, S.: Erfahrungsförderlichkeit als Gestaltungsanforderung für Benutzungsoberflächen von CNC-Werkzeugmaschinen. In: K.H. Rödiger (Hrsg.): Software-Ergonomie '93, German Chapter of the ACM, Berichte 39, Stuttgart 1993, S. 215-227.
- Carus, U.; Schulze, H.: Leistungen und konsistive Komponenten erfahrungsgeleiteter Arbeit. In: H. Martin (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995, S. 48-82.
- Carus, U.; Schulze, H.; Ruppel, R.: Neue Funktionsbausteine für CNC-Werkzeugmaschinen - Der Drehprozeß zum Greifen nahe. In: Technische Rundschau, Heft 41, 85. Jg., 1993, S. 54-57.
- Klimmer, M.; Ruppel, R.; Schulze, H.: Höhere Produktivität bei der Zerspanung - Facharbeiterorientiertes Low-tech-Konzept zur Nutzung von Körperschallemissionen. In: VDI-Z, Heft 9, 136. Jg., 1994, S. 33-39.
- Martin, H. (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995.
- Rose, H. (Hrsg.): Programmieren in der Werkstatt - Perspektiven für Facharbeit mit CNC-Maschinen, Frankfurt/New York 1990.
- Rose, H. (Hrsg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement - Neue Ergebnisse der Sozialforschung über Technikbedarf und Technikentwicklung, Frankfurt/New York 1995.
- Schulze, H.; Fechter, Th.A.: Defizite der heutigen Werkstückprogrammierung. In: Werkstatt und Betrieb, Heft 2, 1994, S. 18-21.

- Schulze, H.; Carus, U.: Systematik und Topologie kritischer Arbeitssituationen.
In: H. Martin (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit,
Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995, S 30-47.
- Sell, R.; Henning, K. (Hrsg.): Lernen und Fertigen, Aachener Reihe Mensch und
Technik, Band 2, Aachen 1993.

Beurteilung des Prototyps einer objektorientierten Steuerung durch Fachkräfte

1. Das arbeitspsychologische Vorgehen zur Ermittlung der Anforderungen und zur Evaluierung des WesUF-Prototyps
2. Evaluationsergebnisse zur Unterstützung der Programmerstellung durch den WesUF-Prototyp
3. Evaluationsergebnisse zur Unterstützung der Aneignung eines Bearbeitungsprogramms
4. Evaluationsergebnisse zur Unterstützung der Optimierung und Überwachung der laufenden Bearbeitung
5. Evaluationsergebnisse zur Unterstützung der Kooperation
6. Fazit

Die Darstellung der Beurteilung des im Projekt WesUF entwickelten Prototyps einer objektorientierten Steuerung durch Fachkräfte und Nutzer gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Abschnitt wird das arbeitspsychologische Vorgehen bei der Ermittlung der Nutzeranforderungen und bei der Durchführung der Evaluationen beschrieben. Im zweiten Abschnitt werden Ergebnisse der Beurteilung des Prototyps durch die beteiligten Arbeitskräfte präsentiert.

1. Das arbeitspsychologische Vorgehen zur Ermittlung der Anforderungen und zur Evaluierung des WesUF-Prototyps

Ein wesentliches Kriterium bei der Entwicklung und Modifikation des im Projekt WesUF entwickelten Steuerungsprototyps bestand in dessen Eig-

nung, das erfahrungsgeleitete und gruppenbezogene Arbeitshandeln von Workern an CNC-Werkzeugmaschinen zu unterstützen. Dem arbeitspsychologischen Vorgehen kam hierbei eine doppelte Aufgabe zu. Als erstes sollten wesentliche *Anforderungen* aus der Sicht der Nutzer ermittelt und ihr Einbezug in das Informationsmodell und in den Prototyp sichergestellt werden. Als zweites sollten *Evaluationen* (vgl. Wottawa, Thierau 1990) des Prototyps mit Fachkräften durchgeführt und kontinuierliche Verbesserungsmöglichkeiten erarbeitet werden. Dem arbeitspsychologischen Vorgehen wurde als methodisches Leitbild das Prinzip der Nutzerrückkopplung und damit der konsequente Einbezug der Praxis zugrundegelegt (vgl. Spinass u.a. 1990). Mit dieser Orientierung konnte die Erreichung der Projektziele gewährleistet werden. Die konkrete Umsetzung des arbeitspsychologischen Vorgehens wird im folgenden dargestellt.

1.1 Ermittlung der Anforderungen

In der ersten Phase des Forschungsvorhabens wurden in Produktionsbereichen der drei WesUF-Anwenderfirmen (Gebr. Heller GmbH, Mercedes-Benz AG, ABB-Berlin) folgende qualitative Forschungsmethoden (vgl. Kleinig 1995) eingesetzt, um Anforderungen der Worker an eine neue Werkzeugmaschinensteuerung zu ermitteln:

- drei jeweils drei- bis fünftägige schichtübergreifend teilnehmende Beobachtungen (vgl. Lamnek 1989) an den Arbeitsplätzen von Fachkräften an CNC-Werkzeugmaschinen,
- zwei je zweistündige Intensivinterviews mit Werkstattmitarbeitern sowie
- drei zwei- bis dreistündige Gruppendiskussionen (ebd.) mit Workern und weiteren Mitarbeitern der NC-Verfahrenskette (u.a. NC-Programmierern, Arbeitsvorbereitern und -planern, Meistern, Vorrichtungsbauern).

Neben diesen auf Band aufgezeichneten Interviews und Gruppendiskussionen wurde im Laufe der teilnehmenden Beobachtungen mit ca. 25 Werkstattmitarbeitern gesprochen.

Die untersuchten Anwendungsbereiche variierten nach dem Grad der Einführung von DV-Technik, dem Ausmaß betrieblicher Arbeitsteilung,

der Größe der Fertigungslose sowie nach dem Aufgaben- und Qualifikationsspektrum der Werker (Abb. 1). Im einzelnen handelte es sich um

- ein flexibles Fertigungssystem mit mehreren Bearbeitungszentren (Mercedes-Benz AG),
- CNC-Fräsportale (ABB-Berlin) sowie
- CNC-Werkzeugmaschinen mit Fremd- und Werkstattprogrammierung (Gebr. Heller GmbH).

Das Fertigungsspektrum reichte von der Einzelfertigung bis hin zu mittleren Serien mit einer Losgröße von ca. 2.000 Stück. Die Aufgabeninhalte der Werker vor Ort in den untersuchten Produktionsbereichen bei ABB-Berlin und Mercedes-Benz AG bestanden in der Optimierung und dem Einfahren vorgegebener, extern erstellter Bearbeitungsprogramme. Bei der Gebr. Heller GmbH wurde ein Produktionsbereich einbezogen, in dem ein Nebeneinander von extern- und werkstatorientierter Programmierung stattfand. Dieses Fertigungsspektrum wurde in der Phase der Evaluation ergänzt um eine Einzelteilerfertigung bei der Seifert GmbH.¹ Hier erstellten die Werker die Programme an den Maschinen in eigener Verantwortung.

Für die Entwicklung des Prototyps hat sich dieser Einbezug unterschiedlicher Organisationsformen der Fertigung als richtig und fruchtbar erwiesen. Auf diese Weise konnten unterschiedliche Anforderungen bezüglich einer abteilungsübergreifenden und organisationsunabhängigen Durchgängigkeit des WesUF-Informationsmodells ermittelt werden. Dies diente der Umsetzung des Ziels, mittels eines einheitlichen technischen Systems - einsetzbar sowohl in der Programmierabteilung als auch an der Maschine - verschiedenartige und neuartige Formen der Kooperation und Arbeitsteilung entlang der NC-Verfahrenskette besser als bisher zu unterstützen.

Ein wesentliches Ergebnis der ersten Projektphase besteht in einer Sammlung sog. „kritischer“ Situationen (vgl. Schulze, Carus 1995; Weh-

1 An dieser Stelle soll im Namen des WesUF-Projekts der Seifert GmbH gedankt werden, die sich an den Untersuchungen im Projekt WesUF aus eigenem Interesse im Nachgang ihrer Teilnahme am CeA-Projekt (Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit) beteiligt hat, ohne selbst als Industriepartner gefördert zu werden.

Erhebungsbereich	Qualifikation	Organisation	Arbeitssituation
<i>Mercedes-Benz AG:</i> Flexibles Fertigungssystem (FFS)	<ul style="list-style-type: none"> • CNC-Facharbeiter, Angelernte mit wenig Programmiererfahrung • Fertigungsmeister • Programmierer • Fertigungsplaner 	<ul style="list-style-type: none"> • verkettete Bearbeitungszentren im FFS • Externe Programmierung • DNC-Betrieb mit Leitstand • getrennte Arbeitsplätze 	<ul style="list-style-type: none"> • Alu-Guß-, Schmiedeteile • Aufmaße auf Rohteil • hohe Lage-/Formtoleranz • ca. 50% Neuteile • dünnwandige Werkstücke • Aneignung, Optimierung
<i>ABB-Berlin:</i> Groß-CNC-Maschinen	<ul style="list-style-type: none"> • CNC-Facharbeiter, Angelernte mit wenig Programmiererfahrung • Technologe • Programmierer 	<ul style="list-style-type: none"> • CNC-Fräsportalwerke 	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelteile mit wiederkehrenden Formelementen • lange Laufzeiten • Aneignung, Optimierung
<i>Gebr. Heller:</i> CNC-Fertigung	<ul style="list-style-type: none"> • CNC-Facharbeiter und Angelernte mit WOP-Erfahrung • Fertigungsmeister • Programmierer 	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungszentren • Nebeneinander von Werkstattprogrammierung (WOP) und externer Programmierung • DNC-Leitung 	<ul style="list-style-type: none"> • verschiedene Stahl- und Gußqualitäten • hohe Lage-/Formtoleranz • Neu-/Änderungsprogrammierung: 30%/70% • Steuerung: UniPro 80, 90 • Aneignung, Optimierung
<i>Seifert GmbH:</i> WOP-CNC-Fertigung	<ul style="list-style-type: none"> • CNC-Facharbeiter mit WOP-Erfahrung • CNC-Meister 	<ul style="list-style-type: none"> • CNC-Bearbeitungszentren ohne Werkzeugwechsler 	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelteillfertigung • WOP-Programmierung

Abb. 1: Kenngrößen der Untersuchungsbereiche

ner, Endres 1996), die von den Fachkräften mit der herkömmlichen Technik nur mit teilweise gravierenden Behinderungen zu bewältigen waren (vgl. den Beitrag von Witt u.a. in diesem Band). Diese Sammlung kritischer Situationen fungierte als Orientierung gebendes Leitbild bei der Entwicklung und Gestaltung des Prototyps.

Ein über die Ermittlung von Anforderungen hinausgehendes Ziel der ersten Projektphase bestand im Aufbau sowie in der Sensibilisierung und Qualifizierung eines festen Stamms von Arbeitskräften, die in die Entwicklung des Prototyps einbezogen werden sollten. Mit diesem Stamm von Fachkräften konnte das Kriterium der Nutzerrückkopplung (vgl. Fuchs-Frohnhofen, Henning 1993) kontinuierlich eingelöst werden. Um den Einbezug und die Qualifizierung der betrieblichen Mitarbeiter zu erreichen, stellten die im WesUF-Projekt beteiligten Ingenieure bereits im Rahmen der ersten empirischen Erhebungen allererste Konzeptionen des Informationsmodells den Fachkräften vor. Gleichzeitig erhielten die Ingenieure auf diesem Weg bereits sehr frühzeitig erste Rückmeldungen aus der Praxis. Dieser frühe Einbezug der Praxis in die Konzeptentwicklung hat sich im WesUF-Projekt sehr gut bewährt (Fuchs, Hartmann 1993).

In den Praxisfeldern und mit dem Stamm von Fachkräften aus der ersten empirischen Phase fanden in der zweiten Phase des empirischen Vorgehens die Evaluationen des WesUF-Prototyps statt. „Evaluation“ wird im Projekt nicht im engen Sinn als Praxistest eines bereits weit entwickelten und festgelegten Prototyps, sondern als ein aufeinander aufbauendes Stufenkonzept von Rückkopplungen (vgl. Wehner, Rauch 1994) verstanden. Die kontinuierlichen Rückkopplungen an die Nutzer hatten zum Ziel, den technischen Prototyp für Modifikationen, Ergänzungen und Erweiterungen aus der Praxis möglichst offen zu halten, und zwar beginnend von der Konzeption über erste Veranschaulichungen der Funktionalitäten, der Menüstruktur und der volumenorientierten Bearbeitungsobjekte mittels Folien und einfachen Screenshows am Bildschirm und weiter über verschieden weit fortgeschrittene PC-Demo-Versionen bis hin zu einem „echten“ Prototyp mit Anbindung an eine Maschine in einem Laborversuch (vgl. Carus u.a. 1995; Striepe 1995).

1.2 Inhaltliches Konzept und Durchführung der Evaluationen

Bis zum Juni 1996 wurden in vier Betriebsbereichen Evaluationen des WesUF-Prototyps durchgeführt. Es wurden insgesamt 43 betriebliche Mitarbeiter einbezogen. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Rahmendaten der Evaluationen.

In der tabellarischen Übersicht ist die zyklische Weiterentwicklung (vgl. Floyd 1992) des Prototyps (unter der Überschrift „Stand Prototyp“) nur angedeutet. Von einer Version zur nächsten wurde der technische Stand weiterentwickelt, indem die in den Evaluationen erarbeiteten Verbesserungsvorschläge umgesetzt wurden. Ein Ergebnis der ersten Evaluation bei der Gebr. Heller GmbH vom 28.9.95 bestand z.B. in der von den Facharbeitern formulierten Notwendigkeit, die komplette Aufspannsituation in das Informationsmodell zu integrieren und abzubilden. Diese Anforderung wurde realisiert und konnte in den darauffolgenden Evaluationen bereits von den Arbeitskräften begutachtet werden.

Eine weitere Vorgehensweise bei der Durchführung der Evaluationen bestand in der Orientierung an realen Arbeitsaufgaben der Werker (vgl. Carus u.a. 1995). Mit dem Prototyp sollten u.a. zwei in der ersten empirischen Phase vorgefundene Arbeitsinhalte der Fachkräfte an CNC-Bearbeitungszentren besser als mit der bisherigen Technik unterstützt werden. Bei diesen Arbeitsaufgaben handelt es sich um die Erstellung eines Bearbeitungsprogramms und um die Aneignung/Optimierung eines von einer vorgelagerten Abteilung bereits erstellten Programms. Die enge Verzahnung dieser beiden Aufgaben mit der Überwachung des maschinellen Abfahrens wurde in den PC-Versionen mitberücksichtigt, indem eine Ein- und Abfahrmaske aufgerufen werden konnte. Solange die Verbindung zwischen dem Steuerungsprototyp und der Maschine technisch noch nicht realisiert war, konnte das tatsächliche Zerspanen mit dem Prototyp natürlich nicht zuverlässig evaluiert werden. Aber immerhin bestand in der Simulation des Bearbeitungsablaufs eine Form der Veranschaulichung, die sich als fruchtbar für die Erarbeitung von Verbesserungen und Modifikationen erwiesen hat. Zum jetzigen Zeitpunkt liefern die Evaluationen mit der PC-Version jedoch gute Anhaltspunkte für die Prognose, daß der Prototyp die erfahrungsgeleitete und gruppenbezogene Facharbeit in besserem Ausmaß unterstützen wird, als dies die herkömmlichen Systeme vermögen.

In der ersten Evaluation bei der Gebr. Heller GmbH wurden den Fachkräften die allgemeine Struktur der Oberfläche sowie Funktionen der

Evalu- ation	Stand Prototyp	Teilnehmer	Inhalt
Heller 28.9.95	Folien- version	9 2 Facharbeiter 2 Meister 2 Programmierer 2 Entwickler (MB/He) 1 Fertigungsleiter	Allgemeine Prinzipien Geometrie- handhabung
Seifert 8.9.95	PC- Demo: Niveau 1	2 1 Facharbeiter 1 Meister	Programm- erstellen: DIN-Satz u. Prototyp
MB AG 14.3.96 MB AG 15.3.96	PC- Demo: Niveau 2	12 6 Facharbeiter (MB/He) 2 Meister (MB/He) 4 Programmierer ----- 11 5 Verfahrensent- wickler 6 Betriebsinge- nieure, Meister (MB/He)	Programm- erstellen: DIN-Satz u. Prototyp
ABB 23.5.96	PC- Demo: Niveau 3	7 2 Facharbeiter 1 Meister 4 Programmierer	Programm- aneignen: DIN-Satz u. Prototyp

Abt. 2: Rahmendaten der Evaluationen

Geometrie-handhabung vorgestellt und von ihnen ausprobiert. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde das Untersuchungsdesign in den darauffolgenden Evaluationen spezifischer auf einen Vergleich des Arbeits-

handelns mit herkömmlicher Technik und demjenigen mit dem WesUF-Prototyp ausgerichtet. So wurde den Fachkräften anlässlich der Evaluationen bei der Seifert GmbH und der Mercedes-Benz AG jeweils zunächst eine Konstruktionszeichnung eines von WesUF-Ingenieuren konstruierten Demonstrationswerkstücks vorgegeben. Sie wurden dann gebeten, eine Reihenfolge der Arbeitsschritte zu erstellen, wie sie für ihr bisheriges Arbeitshandeln typisch ist. Anschließend wurde diese Reihenfolge mit dem Prototyp nachgebildet. Ähnlich sah das Vorgehen bei dem Design der Evaluation anlässlich der Arbeitsaufgabe „Programmaneignung und -optimierung“ bei ABB-Berlin aus. Hier wurden den Fachkräften eine *betriebsspezifische* Zeichnung sowie das dazugehörige NC-Programm im DIN-Satz vorgestellt, um die hier typischen Verfahrensschritte zu ermitteln. Diesem „alten“ Vorgehen wurde dann die Visualisierung der mit dem WesUF-Prototyp erstellten Bearbeitungsreihenfolge gegenübergestellt und mit den Arbeitskräften diskutiert.

Dieses Design, bestehend aus einem Vergleich zwischen bisherigem Vorgehen und neuem Vorgehen mit dem WesUF-Prototyp, hat sich nach den Erfahrungen im Projekt WesUF gut bewährt. Es ermöglichte den Fachkräften einen einfachen Vergleich ihrer bisherigen Arbeitsweise mit dem durch den Prototyp nahegelegten Vorgehen. Dadurch waren sie in der Lage, sich die bisherigen, infolge von Routine kaum mehr bewußten Arbeitsabläufe ins Gedächtnis zu rufen. Die bisherigen Arbeitsabläufe konnten dann auf die Arbeit mit dem WesUF-Prototyp übertragen und evtl. Handlungsbarrieren bemerkt werden. Durch diesen Vergleich war den Fachkräften dann eine Einschätzung möglich, ob sich die neuen Vorgehensweisen im betrieblichen Arbeitsalltag als hilfreich oder eher als hinderlich erweisen werden. Die vielfältigen und differenzierten Verbesserungsvorschläge der Fachkräfte sind neben deren hohem Engagement mit auf dieses Evaluationsdesign zurückzuführen. Es erlaubte, die Anforderungen der Nutzer bei der Entwicklung einer neuen Technik einzubeziehen. Indem sie durch Konzepte und erste Prototypen in die Lage versetzt wurden, Grenzen der bisherigen Technik im Spiegel der prototypisch realisierten „neuen“ Lösung zu erkennen, konnten sie Verbesserungsvorschläge auch in Richtung einer neuen - vorher nicht vorstellbaren - Technik entwickeln (vgl. Striepe 1995).

Die Evaluationen wurden in allen Fällen gemeinsam mit Werkern vor Ort und mit NC-Programmierern aus externen Programmierabteilungen in Form einer jeweils drei- bis vierstündigen Gruppendiskussion durchgeführt. Mit Genehmigung der Teilnehmer konnten die Diskussionen auf

Band aufgezeichnet und transkribiert werden. Diese verschriftlichten Mitschnitte lagen der Auswertung als Datenmaterial zugrunde. Zusätzlich zu den Werkstattmitarbeitern wurden Entwickler der Betriebe zugezogen (nur bei Mercedes-Benz AG war es infolge der hohen Anzahl der Interessierten notwendig, die Evaluation mit den Entwicklern in einer separaten Runde durchzuführen). Der Einbezug der betrieblichen Entwicklungsingenieure hat sich ebenfalls bewährt. Dadurch konnten neue Kooperationsformen zwischen Programmierung und Werkstatt diskutiert werden. Auch wurde eine Einschätzung der Bedeutsamkeit und der Umsetzungschancen der geplanten Durchgängigkeit des WesUF-Konzepts von der Konstruktion über die Arbeitsvorbereitung/Programmierung zur Werkstatt und weiter bis zur Qualitätssicherung möglich. Ein Nebeneffekt der abteilungsübergreifenden Gruppendiskussionen bestand in der Initiierung und Intensivierung abteilungsübergreifender kooperativer Kommunikationsprozesse.

2. Evaluationsergebnisse zur Unterstützung der Programmerstellung durch den WesUF-Prototyp

Die Darstellung der Evaluationsergebnisse gliedert sich zunächst in die Schwerpunkte der Unterstützung der Programmerstellung, Programmaneignung, Optimierung und Überwachung des laufenden Zerspanprozesses sowie der Unterstützung kooperativer abteilungenübergreifender und abteilungsinterner Prozesse. Innerhalb jeden Schwerpunkts werden zunächst Unterstützungspotentiale des Prototyps dargestellt, um anschließend auf Voraussetzungen und offene Fragen einzugehen.

2.1 Unterstützungspotentiale des Prototyps bei der Programmerstellung

2.1.1 Unterstützung der Grobplanung

Die Teilnehmer der Evaluationen sahen in der Übernahme von 3-D-Geometrien in die Werkzeugmaschinensteuerung übereinstimmend eine gute Unterstützung für die Grobplanung der Bearbeitung. Die 3-D-Geometrien, so wurde gefordert, müssen sich dabei in der Form von Volumenmodellen ganzheitlich auf

- das Fertigteil,
- das Rohteil,
- die verwendeten Spannmittel und deren Position am Werkstück,
- auf den Maschinentisch sowie
- die Werkzeuge einschließlich ihrer Aufnahmen

beziehen.

In den Evaluationen zeigte sich, daß die Fachkräfte infolge der 3-D-Darstellung des Fertigteils wesentlich schneller und mit weniger Aufwand eine Vorstellung über das zu fertigende Werkstück und über die zu fertigenden Konturen entwickeln konnten als bisher. In diesem Zusammenhang wurden Funktionalitäten zum Rotieren, Zoomen und Verschieben des Volumenmodells und das damit mögliche Ansehen des Fertigteils aus verschiedenen Perspektiven als Vorteil gesehen, um einen Überblick und eine Orientierung über das Bearbeitungsziel zu gewinnen. Bisher mußten die Fachkräfte die verschiedenen 2-D-Ansichten der Konstruktionszeichnung unter Einbezug des Rohteils in eine volumen- und flächenartige Vorstellung vom Fertigteil übersetzen. Dieser Prozeß kann bei komplexen Bauteilen beträchtliche Zeit in Anspruch nehmen und bedeutet einen hohen Aufwand. In der 3-D-Darstellung von Fertigteil und Rohteil wurde hier eine deutliche Arbeitserleichterung gesehen.

2.1.2 Unterstützung der Planung und Festlegung der Bearbeitungsschritte

Bei der Planung der Bearbeitung werden nach den Ergebnissen der Evaluationen zwei Planungsrichtungen miteinander verschränkt: Beginnend mit der Vergegenwärtigung des Fertigteils anhand der Zeichnung wird teils „rückwärts“ vom Fertigteil hin zum Rohteil überlegt, welche Zerspannschritte notwendig sind. Gleichzeitig wird jedoch das Rohteil als Ausgangszustand gesehen und die Bearbeitung „vorwärts“ in Richtung zum Fertigteil geplant. „Rückwärts“ und „vorwärts“ finden eng verschränkt miteinander und teils nahezu parallel statt. Diese Vorgehensweise wird durch die 3-D-Darstellungen von Rohteil und Fertigteil optimal unterstützt.

Für wichtig und notwendig erachtet wurde die Möglichkeit des Umschaltens zwischen der 3-D-Volumen- und der 2-D-Darstellung. Die Fachkräf-

te äußerten übereinstimmend die Einschätzung, daß sie bei der Festlegung der Aufspannfolge die 3-D-Darstellung nutzen würden, während bei der Bearbeitungsdefinition die 2-D-Darstellung wegen der dann möglichen Reduktion der Komplexität hilfreicher wäre. Dies kommt in dem folgenden Zitat eines Facharbeiters exemplarisch zum Ausdruck:

„Ich würde das 3-D-Modell nur verwenden, um zu sehen, wie sieht mein Fertigteil aus, und um meine Aufspannungen festzulegen, da ich jetzt das 3-D-Modell drehen und wenden kann, wie ich will ... und dann kann ich es mir eins zu eins vorstellen. Ich kann die Spannung drehen, wie liegt meine Spannung im Raum ... und sagen, vielleicht mache ich es von unten, vielleicht mache ich es von oben. Dann klicke ich mir die erste Seite, die ich aufgespannt habe, an, und die möchte ich nur noch zweidimensional sehen und dann als Rohteil zum Fertigteil. Die ganzen anderen Konturen brauche ich dann nicht mehr.“

Bei der Festlegung der einzelnen Bearbeitungsabschnitte durch die Fachkräfte wurde eine *Wechselwirkung zwischen Geometrie und Werkzeug* (vgl. Hartmann 1995) deutlich. So spielen in die Auswahl eines Werkzeugs sowohl die Vorstellung der zu bearbeitenden Flächen als auch die jeweils gegebenen Rahmenbedingungen (u.a. Maschine und Qualitätsangaben) hinein. In den Evaluationen wählten die Fachkräfte bei der Festlegung einer Bearbeitung zunächst eine „Initial- oder Startfläche“, für die ein Werkzeug ausgewählt wurde. Dies wird durch den Prototyp gut unterstützt, indem zunächst das geometrische Bearbeitungsobjekt gewählt und diesem anschließend Werkzeuge und Technologie zugeordnet werden. Anschließend an diese Zuordnung überlegten die Fachkräfte, was mit diesem Werkzeug „noch mitgemacht“ werden kann. Somit wird zunächst einer Fläche ein Werkzeug und anschließend werden diesem Werkzeug noch weitere Flächen zur Bearbeitung zugeordnet. Diese Überlegung des „Mitmachens“ resultiert aus der vorgestellten Verfahrensbewegung des Werkzeugs. Die - chronologischen - Verfahrensbewegungen entlang der jeweiligen Werkstückkontur werden offenbar im Geist als werkzeugbezogene „Bewegungsgestalt“ gedacht und stellen Bezugsgrößen des Handelns dar. Diese werkzeugbezogene Zuordnung von Flächen stellte sich in den Evaluationen als wichtige Option heraus. Sie wurde in der letzten Version des Prototyps exemplarisch umgesetzt (s. vorheriges Kapitel).

Ein weiterer Vorteil wurde in der 3-D-Darstellung von *Zwischenzuständen der Bearbeitungsfestlegung* gesehen. Die Definition der einzelnen Bearbeitungsschritte vollzieht sich vom Roh- zum Fertigteil und folgt dem Prinzip, zunächst „Grobbearbeitungen“ (Schruppen) und anschließend

„Feinbearbeitungen“ (Schlichten) vorzunehmen. Der Prototyp stellt den aktuellen Planungszustand als das je aktuelle Rohteil zur Verfügung. Die Orientierung an solchen Zwischenzuständen der Planung und der Bearbeitung illustriert das folgende typische Zitat eines Facharbeiters:

„Ich denke, Zwischenstufen sind sowohl bei der Bearbeitungsfestlegung und bei der Zerspanung wichtig für mich. Nachdem ich die erste Bearbeitung am Rohteil gemacht habe, kommt vielleicht eine andere Bearbeitung wie z.B. Schleifen, anschließend kommt das Zwischenteil wieder zur Maschine zurück. Das Zwischenteil will ich sehen, wie es jetzt aussieht als Rohteil ... das ist ja in dem Fall das Rohteil, was derjenige jetzt auf der Maschine hat, und arbeitet von dem hier weiter Richtung Fertigteil. Wenn das der Prototyp darstellen kann, das wäre eine große Unterstützung.“

Als eine weitere Unterstützung der Programmerstellung an der Maschine wurde die mit dem Informationsmodell verbundene maschinenspezifische *Vorschlagfunktion* bewertet. Von den Fachkräften wurde als Vorteil gesehen, wenn die Steuerung Vorschläge bezüglich der in der Maschine hinterlegten Spannmittel, Werkzeuge und Technologien generiert. Diese Vorschläge müssen allerdings nach übereinstimmender Einschätzung der Fachkräfte jederzeit und komfortabel veränderbar und die gesamte Funktionalität müßte optional zu- und abschaltbar sein. Dies veranschaulicht das folgende typische Facharbeiterzitat:

„Vorschläge vom technischen System finde ich gut. Aber ich muß da relativ leicht eingreifen können, das ist absolut wichtig. Ich kann den Vorschlag bekommen, aber ich muß in den Vorschlag unwahrscheinlich leicht eingreifen und ihn ändern können, und das muß eine Steuerung umsetzen.“

2.1.3 Unterstützung kurzer Wechsel zwischen Bearbeitungsfestlegung und maschinellm Zerspanen

Als weiterer Vorteil des Prototyps wurde gewertet, daß zu verschiedenen Zeitpunkten der Bearbeitung ein Hin- und Herwechseln zwischen den Betriebsarten der Bearbeitungsfestlegung und der maschinellen Abarbeitung auf kurzem Weg vorgesehen ist. So kann entweder nur ein Bearbeitungsschritt definiert, abgefahren und dann weiterprogrammiert werden, oder es kann auch erst nach der Definition von Bearbeitungsabschnitten die gesamte Bearbeitung abgefahren werden. In den Evaluationen schälten sich zwei Handlungsstrategien heraus: Während „bekannte“ Bearbeitungsabschnitte komplett vorher definiert und erst danach in ihrer Reihenfolge optimiert und abgefahren werden, wurde für „knifflige Bearbeitungsstellen“ eine dem Teachen nahe Vorgehensweise favorisiert. In der

Unterstützung dieser verschiedenen situationsbezogenen Handlungsstrategien wurde eine der Stärken des WesUF-Prototyps gesehen. Diese beiden Strategien und die Bedeutsamkeit der kurzen Wege zwischen Bearbeitungsdefinition und dem maschinellen Zerspanen veranschaulicht die folgende Schilderung eines Facharbeiters exemplarisch:

„Wenn ich die Geometrie komplett bekomme, dann schaue ich mir das Teil an und lege für mich fest, was ich alles machen will. Eine Vorgehensweise mit dem Prototyp könnte ich mir so vorstellen, daß ich erst mal die einzelnen Objekte definiere, wieviel ich machen will, d.h., ich schaue erst mal an, was muß ich außenrum fräsen, das wird immer eine der ersten Bearbeitungen bleiben, und definiere das Außenrum-Fräsen. Dann schaue ich mir an, was für Taschen, was für Nuten, was für Bohrungen ich machen muß, definiere die immer einzeln, alle Taschen, alle Nuten und Bohrungen. Danach sage ich, wie was bearbeitet wird. Danach sage ich Reihenfolge: erstens Außenrum-Fräsen alles, zweitens alle Bohrungen zentrieren, drittens alle Taschen vorfräsen, und dann sage ich viertens: Alle Bohrungen vorbohren oder meinetwegen alle Gewindebohrungen, alle Schraubenlöcher bohren, senken ... alle genauen Bohrungen bohren, aufbohren, ausdrehen, reiben ... Und so stelle ich mir das vor ..., wie ich damit agiere ... Aber andererseits hat man manchmal z.B. einen Zusammenbau von irgendwelchen Werkzeugen, wo man gar nicht weiß, ob das jetzt so funktioniert, dann muß man das einfach ausprobieren. Dann muß man ein einzelnes Werkzeug ausprobieren können, d.h., in dem Fall würde ich die ganze Bearbeitung bis zum Werkzeug machen und das Werkzeug dann direkt abfahren und ggf. muß man es halt ändern, wenn es nicht geht. - Dafür muß ich dann aber vom Bearbeiten direkt zum Programmverändern kommen können, ohne mich lange durch das Programm durchhangeln zu müssen.“

Die abschließende Einschätzung, daß der WesUF-Prototyp die Phase der Programmerstellung besonders gut unterstützen kann, zeigt sich auch in der Beurteilung der für den Prototyp geeigneten Anwendungsbereiche: Als besonders geeignet wurde der Prototyp für den Bereich der Einzelteil- und Kleinserienfertigung und für das FFS gehalten. Dies gilt besonders für kleinere und mittelgroße Werkstücke. Bei besonders großen Werkstücken stellt sich die Frage der Darstellung auf dem Bildschirm.

2.2 Voraussetzungen und offene Fragen bei der Unterstützung der Programmerstellung

2.2.1 Hohe Anforderungen an die Ausgangsdaten

In den Diskussionen im Laufe der Evaluationen wurde immer wieder die Einschätzung geäußert, daß die Vorteile des Prototyps nur dann evident

werden, wenn die betriebliche Organisation darauf abgestimmt werden kann. Dies würde z.B. bedeuten, daß Werkzeuge, Spannmittel, Vorrichtungen, Programme und CAD-Zeichnungen komplett und standardisiert erfaßt und im Modell gespeichert und gepflegt werden müssen. Hier wurde für die Betriebe ein hoher Aufwand prognostiziert. Dies illustriert stellvertretend die Aussage eines Meisters aus der NC-Fertigung:

„Die Schwierigkeit sehe ich darin, die ganze Organisation darauf abzustimmen, die Daten hineinzubringen und das Umfeld dementsprechend zu gestalten. Ich müßte das Umfeld also zum Teil umkrempeln, was heute in der Firma da ist. Das fängt in der Konstruktion an, das muß sauber mit allen Details in CAD gezeichnet werden, nicht nur die groben Umrisse, auch die Feinheiten, die sind halt so Insiderwissen, das muß alles im CAD nachher vorhanden sein, im Datenmodell. Das hat also Konsequenzen zur Folge, daß das ein „Muß“ ist und nicht ein „Kann“.

Ein besonderes Problem besteht in diesem Zusammenhang in der Übernahme der aktuellen Rohteilmaße in das Informationsmodell. Dies wurde als schwierig zu erfüllende Voraussetzung insbesondere bei vorbearbeiteten Werkstücken sowie bei Gußteilen gesehen. In der Erfassung der Rohteilgeometrie oder relevanter Teilbereiche durch Meßtaster sowie in der Verwendung genormter Halbzeuge könnten hier Lösungsmöglichkeiten bestehen.

2.2.2 Überforderung durch unübersichtliche Darstellung

Die vielfältigen Informationsangebote, die das Informationsmodell zur Verfügung stellen kann, wurden gleichzeitig auch als Schwierigkeit aufgefaßt. Der Tenor war, daß es leicht zur Überforderung der Mitarbeiter kommen könnte, wenn die Informationen nicht in einer Form zur Verfügung gestellt werden, die die Facharbeiter im Rahmen der mentalen Kapazitätsspanne verarbeiten können. So wurde bei komplexen Teilen die Befürchtung geäußert, daß dann so viele Linien auf dem Bildschirm dargestellt werden, daß ein Überblick nicht mehr möglich wäre. Als Lösungsmöglichkeit wurden Maßnahmen zur Komplexitätsreduktion vor allem der 3-D-Darstellung gesehen. Es müssen einfach handhabbare Mechanismen zur Verfügung gestellt werden, um interessierende Darstellungen herauszulösen und im Moment nicht benötigte Darstellungen wegzublenden. Über die bereits verwirklichten Möglichkeiten des Zoomens, Drehens und Verschiebens des 3-D-Werkstückmodells hinaus wurde in diesem Zusammenhang die Möglichkeit diskutiert, Schnitte durch das dreidimensionale Modell legen zu können. Dies hätte den

Vorteil, daß gezielt Bearbeitungsabschnitte und -ansichten aus dem Gesamtmodell selektiert werden könnten.

2.2.3 Werkstattangemessene Datenqualität und Veränderung der geometrischen Bearbeitungsobjekte

Die - bei Bedarf zuschaltbare - Anzeige von Toleranzen, Parallelitäten und Oberflächengüten wurde für absolut notwendig erachtet. Ohne Maßangaben ist eine Orientierung über die realen Größenverhältnisse des Bauteils nicht möglich. Zu diesem Thema formulierten die Fachkräfte in den Evaluationen umfangreiche Vorschläge. Sie reichen von der Verwendung von Maßlayern bis hin zur Darstellung von Fadenkreuzen im Koordinatensystem, wie es aus CAD-Systemen bekannt ist. Des weiteren wurden einfach handhabbare Funktionen zur Vergabe von Aufmaßen gefordert.

Von elementarer Wichtigkeit war für die Fachkräfte, daß ihnen Möglichkeiten zur Modifikation der geometrischen Bearbeitungsobjekte zur Verfügung gestellt werden. Immer wieder tauchten in den Evaluationen Wünsche auf, nur einen Teil eines Bearbeitungsobjekts mit einem gerade gewählten Werkzeug „mitmachen“ zu können. Beispielsweise wenn bei einer Tasche mit einem kleinen Radiusaufsatz die Tasche zwar noch mitgeschruppt werden soll, der Radius jedoch nicht, da der Fräserdurchmesser hierfür zu groß ist. Dies stellt eine bisher alltägliche Vorgehensweise dar und muß auch von dem WesUF-Prototyp zukünftig unterstützt werden. Neben der Funktionalität der Geometriehandhabung zum Aufsplitten von Bearbeitungsobjekten wurde auch eine Funktionalität zur Kombination und Gruppierung von Bearbeitungsobjekten gefordert. Dies hätte den Vorteil, Bearbeitungsobjekte zu einer größeren Einheit zusammenfassen zu können, was den Fachkräften erlauben würde, flexibel werkzeugbezogene Bearbeitungseinheiten zu bilden. Solche Einheiten geben Orientierung und stellen eine Möglichkeit dar, Komplexität zu verarbeiten.

Die Notwendigkeit, die geometrischen Bearbeitungsobjekte verändern zu können, taucht in ähnlicher Weise bei der Modifikation von Verfahrenen auf. Hier kann der Fall auftreten, daß sich mit der Veränderung der Verfahrenswege innerhalb eines Objekts auch die Geometrie des Objekts selbst verändert. Die Notwendigkeit solcher Funktionalitäten zur Modifikation von Geometrie war bei Beginn des Projekts nicht vorher-

sehbar. Zu diesem Zeitpunkt war noch völlig unklar, mit welchen geometrischen Bearbeitungsobjekten die Fräsbearbeitung beschrieben werden kann.

2.2.4 Simulation des festgelegten Bearbeitungsablaufs

Die Simulation der definierten Bearbeitung war in den bisherigen Versionen des Prototyps technisch noch nicht umgesetzt. In den Evaluationen wurde aber deren Bedeutsamkeit für die Fachkräfte deutlich. Ein Testlauf der programmierten Bearbeitung erschien als unverzichtbar. Vom WesUF-Prototyp wurde gefordert, daß die Simulation neben den Verfahrenswegen innerhalb eines Objekts auch die Werkzeugbahnen zwischen den Objekten und die An- und Abfahrstrategien beinhalten muß.

3. Evaluationsergebnisse zur Unterstützung der Aneignung eines Bearbeitungsprogramms

Bei der Aneignung eines Bearbeitungsprogramms stehen die Übernahme, Einarbeitung und Optimierung eines fremderstellten NC-Programms im Mittelpunkt des Handelns. In großen und mittleren Produktionsbetrieben findet sich in der Regel eine vorgelagerte NC-Programmierabteilung, die der Fertigung die NC-Programme vorgibt. Einige der Tätigkeiten, die bei der Aneignung eines fremderstellten Programms eine Rolle spielen, sind bereits unter dem Aspekt der Unterstützung der Programmerstellung abgehandelt worden. Typische Tätigkeiten, die sich nur bei der Aneignung finden, bestehen im Nachvollzug der dem Programm zugrundeliegenden Bearbeitungsstrategie sowie in ihrer Optimierung. Hier wurden die Fachkräfte durch die herkömmliche Technik bisher wenig unterstützt (vgl. vorherigen Abschnitt). Im folgenden werden Stärken und Schwächen des WesUF-Prototyps bezüglich der Unterstützung dieser beiden Tätigkeitsbereiche aufgezeigt, wie sie in den Evaluationen zutage traten.

3.1 Unterstützungspotentiale des Prototyps bei der Aneignung und Optimierung

3.1.1 Unterstützung der Orientierung über Bearbeitungsstrategie und Bearbeitungsschritte

Die Orientierung über extern erstellte Bearbeitungsfolgen sowie über einzelne Bearbeitungsschritte fiel den Fachkräften nach übereinstimmender Aussage mit dem WesUF-Prototyp deutlich leichter als anhand des bisherigen NC-Programmausdrucks; insbesondere dann, wenn Kommentare von den Programmierern unzureichend vergeben werden oder ganz fehlen - was in der betrieblichen Praxis infolge des hohen Produktionsdrucks keine Seltenheit ist. Die Darstellung der Abfolge der einzelnen Bearbeitungsobjekte und Bearbeitungsschritte in einem Strukturgraphen mit direkten Links der einzelnen Objekte zur Lage im 3-D-Werkstückmodell empfanden die Fachkräfte als deutlich übersichtlicher.

„Man braucht sich nicht mehr durchs Programm zu wühlen“ oder „Da sieht man gleich, welche Zyklen ausgeführt werden“,

waren in diesem Zusammenhang typische Äußerungen der Fachkräfte. In Abbildung 3 sind in einer Baumstruktur die Reihenfolgen der geometrischen Bearbeitungsobjekte (Teilestruktur) und der Bearbeitungsschritte (Bearbeitungsfolge) dargestellt. Der Arbeitsschritt „Spiralfräsen“ ist in der Abbildung hervorgehoben. Diese würde parallel in dem 3-D-Modell in ihrer geometrischen Lage im Bauteil als Volumendarstellung hervorgehoben werden.

Darüber hinaus wurde der Vergleich zwischen programmierten Soll-Maßen und den in der Konstruktionszeichnung vorgegebenen Ist-Maßen als „leichter“ empfunden, da beide Maßdarstellungen auf einen Blick auf dem Bildschirm erfaßt werden können. Über den einfachen Vergleich der Maße hinaus kommt der Volumendarstellung ein weiterer Vorteil zu: Eine Kollisionskontrolle ist einfach und anschaulich durchführbar.

3.1.2 Unterstützung kurzfristiger Bearbeitungsveränderungen

Von den Facharbeitern wurde die Möglichkeit der schnellen Optimierung und Korrektur der Bearbeitung als eine Stärke des WesUF-Prototyps angesehen:



Abb. 3: Objektorientierte Programmdarstellung

„... die Möglichkeit, schnell zu reagieren und etwas abzuändern, was beim normalen Programmieren eben aufwendig ist. Das ist wichtig, schnell etwas ändern zu können. Wenn halt ne Pratte im Weg ist, dann möchte ich ganz schnell deren Position am Werkstück ändern und die dann in der Steuerung nachführen.“

Zu den kurzfristigen Veränderungsmöglichkeiten, die von den Fachkräften in den Evaluationen durch den WesUF-Prototyp als Erleichterung der Handhabung eingeschätzt wurden, zählen:

- Verschieben, Vorziehen von Arbeitsgängen;
- Verändern von Bohrungspositionen und -tiefen;
- Einfügen zusätzlicher Schnitte;
- Austauschen von Werkzeugen.

Positiv vermerkt wurde von den Evaluationsteilnehmern die gegenüber dem Eingeben über Tastatur geringere Wahrscheinlichkeit von Tippfehlern (z.B. Zahlendreher etc.) bei der Auswahl von Werten aus Listen. Fraglich war allerdings, welches Zeigegerät den Werkstattbedingungen gerecht werden kann. Die im Bürobereich häufig eingesetzte und bewährte Maus wurde als untauglich bewertet - vor allem infolge von Metall- und Ölrückständen, wie sie für die Fertigung typisch sind. Allerdings waren die Fachkräfte auch hier der Überzeugung, daß es auf einen Versuch ankäme. Zumal eine „Maus ja nicht so viel kosten“ würde, sondern eher als „Verschleißartikel“ anzusehen sei.

3.2 Voraussetzungen und offene Fragen bei der Unterstützung der Programmaneignung

3.2.1 Definieren eines Werkzeugs an der Steuerung und Berücksichtigung von Sonderwerkzeugen

Die Auswahl eines Werkzeugs war in dem WesUF-Prototyp von Anfang an vorgesehen. Neu und bisher noch nicht berücksichtigt war jedoch die Definition eines „neuen“ Werkzeugs an der Steuerung. Ein Werkzeug setzt sich zusammen aus einem Spannmittel und dem eigentlichen Zerspanwerkzeug. Je nach Aufspannsituation in der konkreten Maschine kann es nach Einschätzung der Fachkräfte notwendig werden, Werkzeuge neu zusammenzubauen (z.B. Verlängerungen). Dies wird in dem folgenden Zitat eines Facharbeiters exemplarisch deutlich:

„Wir sprechen vom Werkzeug immer als Komplettwerkzeug, bestehend aus Spannmittel und Werkzeug ... und wie das auf dem Bild bei Ihnen aussieht, sprechen Sie nur von einem Werkzeug als das, was bearbeitet, aber das Spannmittel ist total ausgenommen. Aber ich muß das Gesamtwerkzeug immer mitbetrachten können, das dürfen wir also nie außer acht lassen ...“

Weiterhin nahm die Frage der Berücksichtigung von Sonderwerkzeugen in einer der Evaluationen einen zentralen Stellenwert ein. Der Einsatz von Werkzeugen mit besonders geformter Schneide erlaubt die Bearbeitung schwieriger Geometrien, wie z.B. die schräger Zylinder. Diese Möglichkeit wurde auch als zukünftig wichtig eingeschätzt. Ihre technische Umsetzung im WesUF-Prototyp wurde als Anforderung formuliert.

3.2.2 Veränderung von Werkzeugbahnen

Allgemein wurde von den Teilnehmern der Evaluationen bemängelt, daß sie bei vielen Zyklen im DIN-66025-Format die Verfahrrwege nicht in ausreichender Form beeinflussen können. Hier wurde eine bessere Unterstützung gewünscht. Für notwendig wurde erachtet, die Verfahrrwege (Schnittaufteilungen) eines Werkzeugs bei dem WesUF-Prototyp innerhalb von Bearbeitungsobjekten und zwischen ihnen sichtbar machen und verändern zu können. Bei der Darstellung wäre auch die Anzeige, ob das Werkzeug im Eil- oder im Normalgang verfährt, wichtig. Die Bedeutung der Darstellung von Verfahrrwegen und ihrer Veränderbarkeit illustriert das folgende typische Zitat eines Facharbeiters:

„Ich habe mal an einer Heidenhain-Steuerung kurz gearbeitet, und die hat ihre Zyklen nicht mehr über den Einzelsatz unterbrechen lassen, das ist nichts. Da konnte man nur noch den Zyklus aufrufen und fertig, dann ist es abgearbeitet gewesen ... Da habe ich mich eigentlich nie dran gewöhnt ..., weil ... ob ich jetzt alles richtig eingegeben habe und ob das dann nachher auch wieder richtig ankommt. Ich möchte lieber alles sehen, jederzeit nachgucken und nachvollziehen und verändern können, was jetzt alles passiert und ob es funktioniert.“

In der Diskussion kam die Idee auf, Werkzeugbahnen mit der Maus zu markieren und zu verschieben, wie es in folgendem Zitat eines Evaluationssteilnehmers ausgedrückt wird:

„Gerade beim Flächenfräsen sehe ich das als Möglichkeit: Ich krieg' den Vorschlag, wie es normalerweise gefräst wird, ich seh' das auf dem Bildschirm. Dann kann ich meiner Bahn in dem Fall mit der Maus nachgehen und sagen: Die Bahn will ich 20 mm weiter unten haben, die andere setze ich 20 mm weiter hoch, und die nächste setze ich wieder 20 mm weiter runter, aus irgendwelchen Gründen.“

4. Evaluationsergebnisse zur Unterstützung der Optimierung und Überwachung der laufenden Bearbeitung

Die bisher im Projekt WesUF durchgeführten Evaluationen bezogen sich auf die Arbeitsinhalte der Programmerstellung sowie der Programmaneignung bzw. -optimierung und nicht auf den des maschinellen Zerspanens. Die Anbindung des WesUF-Prototyps an eine Maschine kann erst gegen Ende der Projektlaufzeit realisiert werden. Somit können an dieser Stelle noch keine Ergebnisse zur Eignung des Prototyps vorgeführt werden, die Werker bei der Optimierung und Überwachung der laufenden zerspanenden Bearbeitung zu unterstützen. In den Evaluationen wurde jedoch bei den PC-Versionen ein Zerspanbetrieb simuliert, und auf dieser Grundlage konnten die Teilnehmer die angedachten technischen Lösungen begutachten und Anforderungen an die Gestaltung formulieren. Hierauf beziehen sich die folgenden Auswertungen.

4.1 Unterstützungspotentiale für die Optimierung und Überwachung der laufenden Bearbeitung

4.1.1 Unterstützung eines Wiederanfahrzyklus

Als besonders hilfreiche Unterstützung des Einfahrens von Bearbeitungsprogrammen wurde in den Evaluationen das vorgesehene Angebot eines Wiederanfahrzyklus bewertet. Von den Fachkräften wurde der Bedarf formuliert, während des laufenden Prozesses bei Wahrnehmung von Unregelmäßigkeiten - wie etwa der einer ungünstigen Schnittaufteilung - eine Werkzeugrückzugstrategie auslösen zu können, um dann direkt z.B. die Schnittaufteilung zu verändern. Ebenfalls direkt anschließend sollte dann eine Wiederanfahrstrategie gewählt werden können, so daß die Bearbeitung an dem Punkt weitergeführt wird, an dem sie unterbrochen wurde. Der Wunsch nach einer solchen Funktionalität „Rückzug-Editieren-Wiederanfahren“ wird anhand des auch für die weiteren Teilnehmer typischen Zitats eines Fertigungsmeisters deutlich:

„Nehmen wir an, es ist beim Programmieren etwas übersehen worden. Ich sehe, daß ich jetzt querfahren will und sehe dann die Hydraulikleitung und dann muß ich als Bediener sagen, STOP an dieser Stelle, ich möchte den Rückzug abheben, so rum und da wieder her. Ich muß eingreifen können, definiere meine neue Wegbeschreibung, und dann drücke ich wieder auf START und dann macht der meine Wegbeschreibung ... ich bin ein Verfechter von Teach-in.“

Eine solche Rückzug-Wiederanfahr-Funktionalität kann das Informationsmodell prinzipiell zur Verfügung stellen. Hiervon sind eine echte Unterstützung des Einfahrens von Bearbeitungsprogrammen und eine erhöhte Kontrolle über den laufenden Zerspanprozeß zu erwarten.

4.1.2 Konfigurierbares Informationsangebot

Auf der Grundlage des Informationsmodells sind auch während des Zerspanprozesses vielfältige Informationsabfragen und -darstellungen auf der Oberfläche möglich. Als Unterstützung beim Einfahren wurden in den Evaluationen verschiedene Anzeigemöglichkeiten diskutiert, die je nach Bedarf optional zugeschaltet oder ausgeblendet werden können. Solche Anzeigen beim Einfahren betreffen unter anderem:

- die Anzeige der Werkzeugbewegungen im Objekt (z.B. per Piktogramm),
- die vorauslaufende Anzeige der Objekte, die als nächste mit diesem Werkzeug bearbeitet werden oder
- die Verfahrwege zwischen den nächsten Objekten.

Das folgende Gesprächszitat einer Fachkraft bringt die Bedeutsamkeit solcher Anzeigen zum Ausdruck:

„Wenn ein Werkzeug einwechselt, dann möchte ich die Bearbeitungsschritte sehen, die das Werkzeug macht, das kann im Vorlauf funktionieren, d.h., man sieht das aktuelle Werkzeug, das Objekt, das es jetzt macht, das nächste und übernächste. Dann möchte ich sehen, wie das Werkzeug anfährt, zentriert.“

Auf der Basis der Auswertung der Evaluationen und der Möglichkeiten des objektorientierten WesUF-Informationsmodells wurden projektintern verschiedene Repräsentationsformen eines Einfahrbildschirms auf der Oberfläche diskutiert. Die folgende Abbildung 4² zeigt eine mögliche Variante einer solchen Bildschirmmaske.

-
- 2 Die Grafik wurde von Körtner Schließtechnik GmbH, Hamburg, im Auftrag der Universität Hamburg erstellt. Ziel war eine demonstrative Umsetzung arbeitspsychologischer Erkenntnisse in einer exemplarischen Konzeption einer WesUF-Oberfläche. Die Arbeit hatte den fruchtbaren Effekt, daß sie die exemplarische Umsetzung der Gestaltungsideen im Projekt bereicherte und ergänzte.

Für wesentlich erachteten die Fachkräfte, daß beim Einfahren immer zweifelsfrei erkennbar ist, in welcher Betriebsart sich die Maschine aktuell befindet. Dies wurde in der Grafik durch das sog. „Maschinenfenster“ umgesetzt: Immer dann, wenn die Maschine sich bewegt, geht vorher dieses Fenster an derselben Stelle auf. Im Maschinenfenster sind die jeweils benötigten Prozeßanzeigen und Prozeßrückkopplungen konfigurierbar. Weitere Informationen zum Bearbeitungsprozeß könnten parallel der 3-D-Darstellung entnommen werden. Zusätzlich würde das jeweils gerade in Bearbeitung befindliche Objekt hervorgehoben werden. Eine Rangreihe nachfolgender Werkzeuge könnte in einem sog. „Prozeßfenster“ angeordnet sein. Jedem als Piktogramm dargestellten Werkzeug könnten dabei die einzelnen Arbeitsgänge chronologisch zugeordnet sein. Die technologischen Parameter des aktuellen Werkzeugs könnten in einem sensitiven Fenster ebenfalls auf einen Blick zugänglich gehalten werden. In einer Übergangsphase von der DIN 66025 zum WesUF-Ansatz könnte optional noch der eigentlich nicht mehr benötigte DIN-Satz angezeigt werden. Deutlich wird, daß die Vorschläge der Fachkräfte durchaus in konkrete Bildschirmvarianten umsetzbar sind.

4.2 Voraussetzungen und offene Fragen bei der Unterstützung der Optimierung und Überwachung der laufenden Bearbeitung

In den Evaluationen wurde die Frage kontrovers diskutiert, ob die grafischen Bearbeitungsobjekte in der Lage sind, den NC-DIN-Satz nicht nur steuerungstechnisch, sondern auch als Manipulations- und Orientierungsmedium für die Facharbeiter zu ersetzen. Ein Vorteil des DIN-Satzes wurde in der kodierten Darstellung der Werkzeugwege sowie in der bewährten Sicherheit gesehen, mit der die Maschine tatsächlich die kodierten Wege verfährt. Ein evtl. Ersatz auf einem höherwertigen Informationsniveau muß sowohl die Anzeige der Werkzeugbahnen als auch die Sicherheit der Transformation dargestellter Symbole in die Maschinenbewegungen gewährleisten. In den Evaluationen wurde diskutiert, ob die Visualisierung von Werkzeugverfahrwegen diesen Anforderungen gerecht werden kann. Zunächst wurde als notwendig erachtet, daß je nach Bedarf eine Sicht auf den gesamten Bearbeitungsverlauf und eine Sicht auf Bearbeitungsdetails möglich ist. So erfordert z.B. die Orientierung über die Verfahrwege zwischen Objekten die Abbildung eines größeren Teilausschnitts. Dies ist auch bei der Fertigung großer Werkstücke der Fall. Demgegenüber erfordert die Orientierung über Verfahrwege in-

nerhalb eines Bearbeitungsobjekts die Abbildung eines Detailausschnitts. Als Möglichkeit der Unterstützung wurde ein optionales Wechseln zwischen Gesamtüberblick und Detailausschnitt („Zoomen“) diskutiert. Frage war, ob das System automatisch zwischen Grobauschnittdarstellung - z.B. bei der Darstellung der Fahrwege zwischen Objekten - und der Darstellung eines Detailausschnitts - z.B. beim Zerspanen einer Tasche - umschaltet. Kontrovers wurden die Anforderungen und Probleme beurteilt, die hiermit für den Nutzer verbunden sein könnten. Ein Problem wurde in dem ständigen Wechseln der Bildschirmdarstellung gesehen, das die menschliche Aufnahme- und Verarbeitungskapazität überfordern könnte. Zu diesem Zusammenhang ein typisches Zitat eines Entwicklers:

„Das gibt schon Probleme, wenn er von einer Bohrung zur nächsten fährt, dann kann man das lokal nicht mehr zeigen, dann muß man wieder den Ausschnitt vergrößern lassen, da sieht man aha und dann wieder kleiner ... und dann immer umschalten von Totale auf Zoom, das macht keiner lange mit.“

Ein Lösungsansatz wurde in diesem Zusammenhang in der Darstellung des Grobübersichts und der Detailansicht in zwei separaten Fenstern gesehen. In dem einen Fenster würden dann das gesamte Teil, die Bearbeitungsobjekte und die Fahrwege zwischen den Objekten visualisiert, während in einem anderen Fenster die Bearbeitung eines einzelnen Bearbeitungsobjekts im Detail gezeigt würde. Diese Frage und generelle Fragen nach der optimalen Güte und Anzahl von Informationen auf dem Bildschirm können jedoch erst beantwortet werden, wenn die Anbindung der WesUF-Steuerung an eine Maschine gelungen und Fachkräfte den Prototyp im zerspanenden Einsatz testen können.

5. Evaluationsergebnisse zur Unterstützung der Kooperation

Die in der Diskussion herausgearbeiteten Unterstützungspotentiale des WesUF-Prototyps für die Kooperation beziehen sich einerseits auf die Zusammenarbeit von Facharbeitern und andererseits auf die abteilungsübergreifende Kooperation entlang der NC-Verfahrenskette.

5.1 Dokumentation als Unterstützung der Zusammenarbeit der Facharbeiter

In den Evaluationen wurde insbesondere die Zusammenarbeit von Schichtkollegen an den Maschinen thematisiert. Als bisheriges Problemfeld wurde das der mangelhaften Unterstützung bei der Weitergabe wichtiger Informationen an den Schichtpartner identifiziert. Bisher wurde hier hauptsächlich mit „Papier und Bleistift“ gearbeitet. In den Betrieben kommt es häufiger vor, daß Informationen nur unvollständig weitervermittelt werden. In der Möglichkeit, Kommentare in schriftlicher, auditiver und visueller Form an die Bearbeitungsobjekte anzuhängen, wurde ein großes Unterstützungspotential für die Zusammenarbeit der Werker ausgemacht. Die Anforderung an eine umfassende Dokumentation als Grundlage der Weitergabe von Erfahrung an Kollegen und eine Lösungsmöglichkeit werden im folgenden Zitat eines Meisters deutlich:

„Also der Werker kriegt das Teil, er fängt an und setzt seine Spannpratze irgendwo nach, weil sie da jetzt halt grad geschickt sitzt. Wenn aber sein Schichter kommt, dann weiß der das nicht, es muß hinterlegt sein, daß er die Spannpratze hier und hier hingesetzt hat. Er muß das als CAD-Modell kriegen, daß die Spannpratze hier zu sitzen hat und das in sämtlichen Lagen. Dann kann man auch noch persönliche Kommentare anhängen, warum das so gemacht werden soll.“

5.2 Durchgängigkeit des Informationsmodells

Die Diskussion der Zusammenarbeit verschiedener Abteilungen und ihrer Unterstützung entlang der NC-Verfahrenskette nahm in der Diskussion einen besonderen Stellenwert ein. Ein Thema war die geforderte, aber in vielen Betrieben nicht vorhandene abteilungsübergreifende Durchgängigkeit von Produktions- und Steuerungskonzepten. Als Vorteil des WesUF-Informationsmodells wurde gewertet, daß mit der Definition der Bearbeitungsobjekte eine allgemeine und genormte „Sprache“ und damit eine abteilungsübergreifende Durchgängigkeit geschaffen werden kann. Mit dem Prototyp wird die Erwartung verbunden, daß z.B. Konstrukteure, Programmierer, Fachkräfte an den Maschinen und Qualitätssicherer besser kooperieren und kommunizieren können, da jetzt in der Form der Bearbeitungsobjekte ein gemeinsamer Bezugspunkt zur Verfügung steht.

In der im WesUF-Projekt verwendeten Form der Objektmodellierung wird eine Möglichkeit gesehen, erstmalig die verschiedenen Handlungs-

logiken und Arbeitsorientierungen der Mitarbeiter unterschiedlicher Unternehmensbereiche abbilden und unterstützen zu können. In den Evaluationen kam deutlich zum Ausdruck, daß Konstruktion und Fertigung unterschiedliche Handlungs- und Denkorientierungen haben (vgl. Schneider u.a. 1992). So zeichnet sich die Arbeit der Konstrukteure durch eine sog. „Funktionslogik“ aus, d.h., ihre Arbeitsweise ist daran orientiert, wie einzelne Bauteile im Gesamtbauteil zusammenpassen. Demgegenüber zeichnet sich die Arbeit der Werker an den Maschinen durch eine sogenannte „Fertigungslogik“ aus, d.h. ihre Arbeitsweise ist daran orientiert, „wie“ mit welchen Werkzeugen ein bestimmtes Bauteil gefertigt werden kann. Die Arbeitsorientierung der Konstrukteure läßt sich somit in erster Linie durch eine Geometriebezogenheit charakterisieren, während sich die der Werker mit einer Werkzeug- und Maschinenbezogenheit beschreiben läßt. Dies bedeutet, daß in der NC-Verfahrenskette auf dem Weg zwischen Konstruktion und Fertigung ein Wechsel der Orientierung und „Handlungslogik“ stattfindet. Der Wechsel von der „Funktions- zur „Fertigungsorientierung“ und umgekehrt ist im übrigen nach den Einschätzungen der Teilnehmer der Evaluationen eine Quelle für Kooperationsbarrieren zwischen beiden Bereichen. Als großer Vorteil des WesUF-Konzepts wurde in den Evaluationen herausgestellt, daß mit den Bearbeitungsobjekten beide „Handlungslogiken“ unterstützt werden können. Das Informationsmodell erlaubt, das Ordnungskriterium der Darstellung zu variieren: Einerseits kann als erstes Ordnungskriterium das der geometrischen Bearbeitungsobjekte gewählt werden. Dies bedeutet, daß die geometrischen Bearbeitungsobjekte in ihrer hierarchischen Abhängigkeit dargestellt werden. Diese Form der Darstellung unterstützt eher die Arbeitsorientierung der Konstrukteure. Andererseits kann aber auch als erstes Ordnungskriterium das der werkzeugorientierten Bearbeitungsobjekte gewählt werden. Dann können die Bearbeitungsschritte eines Werkzeugs in ihrer Abfolge dargestellt werden. Dies käme eher den Bedarfen der Programmierer und Werker vor Ort entgegen.

Darüber hinaus können durch die Bearbeitungsobjekte neue Schnittstellen zwischen Qualitätssicherung und Werkstatt geschaffen werden, wie z.B. diejenige einer Kopplung von Meß- und Bearbeitungsobjekten. Ein Problem der in die Evaluationen einbezogenen Betriebe bestand bisher im fehlenden Bezug zwischen dem Meßprogramm einer Meßmaschine und dem Bearbeitungsprogramm. Hier mußten die Werker mit viel Aufwand und Mühe im NC-Programm die Abschnitte suchen, auf die sich das Meßprogramm bezieht.

In den Evaluationen wurde weiterhin die Hoffnung geäußert, daß das WesUF-Konzept insbesondere die Unternehmensbereiche der NC-Programmierung und der Werkstatt näher zusammenbringt. Neue Formen der Kooperation und Arbeitsteilung zwischen beiden Bereichen könnten ermöglicht werden. Der Schlüssel hierfür wurde in der Verwendung des gleichen technischen Systems sowohl in der Programmierung als auch vor Ort an den Maschinen gesehen. Hierdurch entfallen Postprozessorläufe, die zu dem Problem des Vorhandenseins unterschiedlich aktueller Programmversionen in Programmierung (Quellcodeprogramm) und Werkstatt (optimiertes Maschinenprogramm) führen. Eine neuartige Kooperationsform könnte jetzt derart gestaltet sein, daß in einer vorgelagerten Programmierung die - maschinenunabhängigen - geometrischen Bearbeitungsobjekte festgelegt werden und die Werker vor Ort die Präzisierung der - maschinenbezogenen - technologischen Bearbeitungsschritte vornehmen. Das fertiggestellte Bearbeitungsprogramm wäre dann immer die aktuelle Version. Diese Form der Kooperation wird abschließend durch das Zitat eines Entwicklers illustriert:

„Bin ich in der AV, dann mache ich das maschinenneutral und kann letztendlich hier nicht das Werkzeug mit seiner spezifischen Beschreibung - wieviel Verlängerung habe ich da jetzt dran - festlegen, weil ich noch gar nicht weiß, wie der Maschinenraum ist, also könnte ich bestenfalls eine Technologieanforderung bezüglich eines Werkzeugs definieren, daß ich sag', ich möchte da einen bestimmten Bohrertyp haben, aber nicht, wie ist der aufgespannt. Das müßte dann in der Werkstatt geschehen.“

5.3 Voraussetzung und offene Fragen bei der Unterstützung der internen und der abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit

Als offenes Problem bei der Unterstützung der internen und der abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit wurde in den Evaluationen das der Einpassung der neuen Steuerungsschnittstelle in die bestehende Organisationsstruktur und in den bestehenden Maschinenpark benannt. Der Maschinenpark setzt sich in vielen Betrieben aus Maschinen unterschiedlicher Generationen und Hersteller zusammen. Die Idee der Maschinenunabhängigkeit des WesUF-Prototyps wurde als große Chance und gleichzeitig als schwierig umsetzbar eingeschätzt.

„Ich denke schon, das Ding ist ein totaler Schnitt zwischen alt und neu, es gibt da keinen Übergang. Ich sehe, da kann ich praktisch die alten Programme komplett wegschmeißen. Wir haben ja die Schwierigkeiten beim DNC-System gehabt, und

das hat lange gebraucht, bis uralt mit neu ging. Und da sehe ich beim WesUF-System noch größere Probleme.“

Eine Lösung könnte in der Option bestehen, beim WesUF-Prototyp eine Ausgabe der Verfahrenwege im DIN-Satz vorzusehen. Durch die Ausgabe- und Verarbeitungsmöglichkeit der DIN 66025 könnte der Prototyp in den bestehenden Maschinenpark integriert werden. Im Prinzip zielt der Prototyp jedoch darauf ab, den DIN-Code durch eine höherwertige Beschreibungsförm abzulösen.

In den Evaluationen wurde weiterhin kritisch der Frage nachgegangen, welche der vor Ort vorgenommenen Programmänderungen in welcher Form archiviert werden sollen. In der Diskussion wurde unterschieden zwischen temporären und permanenten Änderungen. Das Problem wird in der Frage eines Entwicklers deutlich:

„Noch mal eine Frage zu dieser flüchtigen Programmänderung ... also, wenn man gezwungen war, ein Programm abzubrechen und wieder anzufahren, sehen Sie das als temporäre Änderung, die dann nur, solange das benutzt wird, lebt, oder erstellen Sie ein neues Programm oder machen Sie die Änderungen permanent, wie sehen Sie das? Weil, die ist ja eigentlich flüchtig, d.h. nur für diesen Fall interessant.“

Während also situationsabhängige aktuelle Änderungen „flüchtig“ bleiben sollen, werden davon situationsunabhängige Änderungen unterschieden, die permanent in das zu archivierende Bearbeitungsprogramm übernommen werden sollen. Es wurde ein umfassendes „Dokumentationstool“ gefordert, mit Hilfe dessen das Bearbeitungsprogramm im Anschluß an die Bearbeitung für die Ablage und Weiterverwendung editiert werden kann.

6. Fazit

In den Evaluationen des WesUF-Prototyps hat sich gezeigt, daß das im Projekt entwickelte Informationsmodell gute Möglichkeiten bietet, das Arbeitshandeln der Arbeitskräfte vor Ort besser als bisher zu unterstützen. Faszinierend war es dabei für die sozial- und ingenieurwissenschaftlichen Projektbearbeiter zu sehen, daß die in die Untersuchung einbezogenen Arbeitskräfte gut in der Lage waren, anhand von sehr konzeptuellen und rudimentären Versionen des Prototyps Unterstützungspotentiale

zu erkennen und wichtige Modifikationen zu formulieren. Im Vergleich zur Phase der Ermittlung von Anforderungen läßt sich schlußfolgern, daß sie erst mit dem Angebot erster Prototypen in der Lage waren, sich eine neuartige Technik vorzustellen. In diesem Fall ersetzte tatsächlich eine Prototypversion - so rudimentär sie auch immer ausfiel - „mehr als tausend Worte“.

Die Modifikationen konnten in dem WesUF-Prototyp zum großen Teil umgesetzt werden. In den Evaluationen hat sich gezeigt, daß der Prototyp ein großes Potential enthält, verschiedene Arbeitsinhalte und Arbeitsanforderungen der Werker vor Ort umzusetzen. Das Spektrum reicht von der Unterstützung der Grobplanung durch Möglichkeiten der parallelen Vorwärts- und Rückwärtsorientierung über das Angebot kurzer Wechsel zwischen Bearbeitungsfestlegung und maschinellm Zerspanen bis hin zur Umsetzung der Forderung nach einer kombinierten „Rückzug-Wiederanfahr-Funktionalität“. Auch die Konfigurierbarkeit des Informationsangebots in der Betriebsart der Zerspanung läßt sich als Beleg der Eignung des Prototyps werten, das Arbeitshandeln der Werker vor Ort zu unterstützen. Weiterhin hat sich in den Evaluationen das Potential der WesUF-Bearbeitungsobjekte gezeigt, sowohl die abteilungsinterne als auch die abteilungenübergreifende Kooperation zu unterstützen. Die Dokumentationsfunktionalität sowie die abteilungenübergreifende Durchgängigkeit wurden in diesem Zusammenhang von den Evaluationsteilnehmern als Stärken des Prototyps herausgestellt.

Die Industrietauglichkeit des Prototyps wird nichtsdestotrotz von der Lösung der in den Evaluationen genannten offenen Fragen abhängen. Insbesondere die rechnergerechte Organisationsstruktur mit ihren hohen Anforderungen an Ausgangsdaten, die Erweiterung der Geometriehandhabungsfunktionen sowie die Frage eines adäquaten Informationsangebots auf der begrenzten Bildschirmfläche stellen Herausforderungen an die weitere ingenieurwissenschaftliche und arbeitspsychologische Forschung. Der momentane Stand des Prototyps und die positive Rückmeldung der Evaluationsteilnehmer ist auch ein Beleg dafür, daß sich das im Projekt gewählte arbeitspsychologische Vorgehen mit den Prinzipien der Nutzerrückkopplung und des konsequenten Praxiseinbezugs als fruchtbarer Weg in Richtung einer innovativen und nutzerorientierten Technikentwicklung bewährt hat (Rose 1995).

Literatur

- Carus, U.; Schulze, H.; Golinski, P.: Interdisziplinärer Erfahrungsaustausch als methodische Forschungsstrategie. In: H. Martin (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995, S. 103-124.
- Floyd, C.: Software Development as Reality Construction. In: C. Floyd et al. (eds.): Software Development and Reality Construction, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1992, pp. 86-100.
- Fuchs-Frohnhofer, P.; Hartmann, E.A.: Partizipative Software-Gestaltung - Methoden und Instrumente zur Beteiligung der Nutzer. In: W. Coy u.a. (Hrsg.): Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor, Forschungsansätze und Anwenderergebnisse aus dem Programm "Arbeit und Technik", Bericht des German Chapter of the ACM, Stuttgart 1993, S. 361-378.
- Fuchs-Frohnhofer, P.; Henning, K.: Facharbeitergerechte Technikgestaltung - Das Beispiel Drehmaschine. In: VDI-Zeitung, Heft 9, 1993.
- Hartmann, E.A.: Eine Methodik zur Gestaltung kognitiv kompatibler Mensch-Maschine Schnittstellen, angewandt am Beispiel der Steuerung einer CNC-Drehmaschine, Aachener Reihe Mensch und Technik, Band 12 (Diss.), Aachen 1995.
- Kleining, G.: Lehrbuch Entdeckende Sozialforschung, Band 1: Von der Hermeneutik zur qualitativen Heuristik, Weinheim 1995
- Lamnek, S.: Qualitative Sozialforschung, Band 2: Methoden und Techniken, Weinheim 1989.
- Rose, H. (Hrsg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement - Neue Ergebnisse der Sozialforschung über Technikbedarf und Technikentwicklung, Frankfurt/New York 1995.
- Schneider, R.; Kötter, W.; Lay, G.; Schrick, G.: Empirische Befunde zur CNC/CAD-Funktionskette. In: A. Bolte; R. Lehmann (Hrsg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit in der CNC/CAD-Funktionskette - Stand und Entwicklungsoptionen, Ergebnisse eines Workshops der Forschungsverbünde CeA 1 und CeA 2, Kassel 1992, S. 12-27.
- Schulze, H.; Carus, U.: Systematik und Topologie kritischer Arbeitssituationen. In: H. Martin (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995, S. 33-48.
- Spinas, P.; Strohm, O.; Waeber, D.: Kriterien benutzerorientierter Dialoggestaltung und partizipative Softwaregestaltung - Eine Literaturlaufarbeitung, Projektberichte zum Forschungsprojekt "Benutzer-Orientierte Softwareentwicklung und Softwaregestaltung", ETH, Institut für Arbeitspsychologie, Zürich 1990.
- Striepe, S.: Technologiewertbestimmung an CNC-Werkzeugmaschinen - Anforderungen an die technische Unterstützung bei Programmerstellung und Einfahren - Overrideprotokollierung, Diss., Göttingen 1995.
- Wehner, T.; Rauch, K.P.: Evaluation von Gruppenarbeit in der Automobilindustrie - Quantitative Befunde zu Reaktionen und Meinungen. In: Arbeit, Heft 2, 3. Jg., 1994, S. 132-149.

- Wehner, T.; Endres, E.: Zur Wechselwirkung von technischen Störungen und sozialen Bewältigungen - ein selbstorganisationstheoretischer Ansatz. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, Heft 2, 40. Jg., 1996, S. 92-96.
- Wottawa, H.; Thierau, H.: Lehrbuch Evaluation, Bern/Stuttgart/Toronto 1990.

Möglichkeiten und Grenzen objektorientierter Programmierung - am Beispiel CNC-Steuerungs- und Programmier-Software

1. Problemstellung und Vorgehensweise
2. Zugrundeliegende objektorientierte Prinzipien und Vorgehensweise
3. Eine Taxonomie mentaler Modelle
4. Abbildung mentaler Modelle durch die Objektorientierung
5. Anwendung auf die CNC-Steuerungs- und Programmier-Software
6. Handlungsbedarf

1. Problemstellung und Vorgehensweise

Bei der Entwicklung von CNC-Werkzeugmaschinen ist in den letzten Jahren ein Trend zu beobachten, der im Gegensatz zu den CIM-Ansätzen der 80er Jahre den Facharbeiter wieder zur zentralen Instanz in der mechanischen Teilefertigung macht. Dazu wird versucht, zusätzliche Elemente in die CNC-Steuerung zu integrieren, die die neuen Aufgaben und Anforderungen der Techniknutzer unterstützen. Die Nutzungsmöglichkeiten der Werkzeugmaschinen sollen z.B. durch die graphisch interaktive Programmierung sowie durch ergonomische und nachvollziehbare Benutzeroberflächen verbessert und variabler gestaltet werden. Dabei spielt die Kompatibilität der mentalen Modelle der Nutzer mit den Strukturen der Programme eine zentrale Rolle.

Heute gibt es jedoch immer noch sehr viele neue CNC-Steuerungen, die der Nutzerorientierung nur bedingt folgen. Erschwerend kommt hinzu,

daß Steuerungs-Software häufig undokumentiert und mangelhaft strukturiert ist, so daß Modifikationen und Erweiterungen zur Anpassung an neue Arbeitsaufgaben nur unter großem Aufwand möglich sind. Für Dritte, die nachträglich in einem fremden Programm Änderungen vornehmen wollen, gestaltet sich dies in der Regel als hoffnungsloses Unterfangen.

Um zum einen die Denkweisen der Facharbeiter - deren mentale Modelle - bei der Entwicklung von CNC-Steuerungen zu berücksichtigen, damit der Umgang mit der Werkzeugmaschine erleichtert und effektiver gestaltet wird, und zum anderen eine strukturierte Steuerungs-Software zu realisieren, soll in diesem Beitrag geprüft werden, inwieweit die objektorientierte Programmierung dazu beitragen kann.

Dabei werden zunächst die grundlegenden theoretischen Konzepte aus der Informatik - die Objektorientierung - und aus der Psychologie - die Theorie der mentalen Modelle - vorgestellt. Dann wird eine Einordnung der objektorientierten Prinzipien und Methoden in die Taxonomie mentaler Modelle vorgenommen. Daran wird deutlich, welche mentalen Modelle durch das Konzept der Objektorientierung unterstützt werden.

Dieses Konzept wird dann auf den CNC-Fräsvorgang übertragen. Jede Arbeitshandlung beim Fräsen wird daraufhin untersucht, welches mentale Modell sie repräsentiert. Nachfolgend wird auf die geeignete objektorientierte Methode geschlossen, mit der die Steuerungs-Software für die jeweiligen Teilaufgaben entworfen werden soll. Beispielhaft werden die Teilaufgaben *Bearbeitungsstrategie planen*, *Programmierung*, *Aufspannen* und die *Werkzeugauswahl* objektorientiert abgebildet. Daraus wird ein Handlungsbedarf bez. der Erweiterung der objektorientierten Darstellungsmethoden abgeleitet. Dieser soll es auch Facharbeitern ermöglichen, am Entwurfsprozeß mitzuarbeiten.

2. Zugrundeliegende objektorientierte Prinzipien und Vorgehensweise

Objektorientiertes Programmieren wird sicher das meistgebrauchte Schlagwort der Software-Entwicklung der 90er Jahre sein. So erscheint es notwendig, zu klären, was hier im weiteren unter dem Begriff Objekt

und unter objektorientierten Prinzipien zu verstehen ist (vgl. auch Messelken, Kutscha 1993).

Bei dem objektorientierten Entwurf liegt der Schwerpunkt nicht wie bei den herkömmlichen Ansätzen auf den Daten bzw. Funktionen. Statt dessen werden beide zu einem sogenannten *Objekt* zusammengefaßt. Somit kombiniert der objektorientierte Entwurf die herkömmlichen daten- bzw. funktionsorientierten Entwürfe (Henning, Kutscha 1994). Objekte werden mit der Frage „Woran ändert das System etwas?“ identifiziert (Meyer 1990). Die Identität eines Objektes macht sich an den Daten und Funktionen fest, die das Objekt besitzt. Diese werden in der objektorientierten Terminologie auch als Attribute bzw. Methoden bezeichnet.

In der Literatur werden als objektorientierte Prinzipien vornehmlich die Prinzipien Klasse, Vererbung, Datenabstraktion, Polymorphismus und Datenkapselung genannt (Meyer 1990; Booch 1991; Rumbaugh u.a. 1991). Die ersten drei Prinzipien werden im folgenden erläutert:

Objekte, die unabhängig von der speziellen Ausprägung die gleichen Typen von Daten und die gleichen Funktionen besitzen, können zu einer *Klasse* zusammengefaßt werden. Die Klasse ist somit der abstrakte Datentyp, ein Objekt der Klasse eine Variable des Datentyps, der konkrete Werte annimmt. Eine wesentliche Leistungsfähigkeit des objektorientierten Entwurfs besteht darin, daß die Klassen ihre Daten und Funktionen an andere Klassen „vererben“ können. Für diese Unterklasse müssen nun diese Daten und Funktionen nicht gesondert vereinbart werden. Darüber hinaus können Unterklassen eigene Daten und Funktionen besitzen und sind somit im semantischen Sinne eine Spezialisierung der Oberklasse. Die Beziehung zwischen Unter- und Oberklasse wird auch als „Ist-ein“-Beziehung bezeichnet.

Die *Datenabstraktion* ist eine utilitaristische Betrachtungsweise, denn sie stellt die Frage „Welche Daten und Funktionen hat eine Datenstruktur?“ in den Vordergrund (Meyer 1990). Da es auch erlaubt ist, Klassen als Datentypen von anderen Klassen zu definieren, ist es möglich, neben der „Ist-ein“- die „Hat-ein“-Beziehung von Klassen zu definieren. Eine Klasse hat dann eine andere Klasse als abstrakten Datentyp. Damit bietet die Objektorientierung ein mächtiges Werkzeug, um Gegenstände der realen Welt bzw. abstrakte Begriffe und ihre Beziehungen zueinander darzustellen. Mit Hilfe der Vererbung und Datenabstraktion lassen sich die semantischen Beziehungen der Unterordnung darstellen (Bussmann 1983):

- Allgemeines versus Spezielles (Lebewesen/Mensch),
- „Teil-von“-Beziehung (Kopf/Nase) und
- „Element-von“-Beziehung (Bibliothek/Buch).

So ist es möglich, Allgemeines (Oberklasse) versus Spezielles (Unterklasse) mit Hilfe der Vererbung auszudrücken. Die „Teil-von“- bzw. „Element-von“-Beziehung kann durch die „Hat-ein“-Beziehung mit Hilfe abstrakter Datentypen abgebildet werden.

Im folgenden soll das Entwurfsverfahren von Booch vorgestellt werden. Diese Auswahl wurde aufgrund von Untersuchungen von Monarchi und Puhr (1992), Tschiersch (1994) und Schäfer (1992) getroffen, da diese Methode objektorientierte Prinzipien weitestgehend abbildet. Die wesentlichen Notationen sind in Abbildung 2.1 gegenübergestellt und werden im folgenden erläutert.

Klassendiagramme stellen die Klassen eines Programmes und ihre Beziehungen zueinander dar. Die Klasse wird durch eine gestrichelte Wolke dargestellt. Der Pfeil, der die „Ist-ein“-Beziehung beschreibt, zeigt auf die Oberklasse. Die „Hat-ein“-Beziehung wird durch einen Doppelstrich dargestellt. Der Kreis ist der besitzenden Klasse zugeordnet.

Für Klassendiagramme mit sehr vielen Klassen bieten sich Kategoriediagramme an, um logisch zusammenhängende Klassenhierarchien zu *Kategorien* zusammenzufassen. Diese Kategorien sollten logisch und thematisch eine Einheit bilden. Die „Hat-ein“-Beziehungen sollten zwischen zwei Klassen in eindeutiger Richtung verlaufen. Die Notation ist in der Literatur wechselnd. Im folgenden werden die Kategorien durch Rechtecke und ihre Schnittstellen zueinander durch „Hat-ein“-Beziehungen dargestellt (Booch 1992; Booch 1992a).

Die Zusammenfassung von Klassen zu Kategorien stellt Abbildung 2.1 am Beispiel einer Meßdatenanzeige schematisch dar. Alle Klassen mit Parametern, die den Zustand des Fahrzeugs beschreiben - wie *Kilometerstand*, *Tachometer*, *Gaspedal* und *Gangschaltung* -, sind in der Kategorie „Zustand“ zusammengefaßt. Alle Klassen, die die Anzeige der Armatur betreffen - wie *Kilometeranzeige* und *Geschwindigkeitsanzeige* - sind in der Kategorie „Anzeige“ zusammengefaßt. Kategorien, die teilweise für alle anderen Kategorien sichtbar sind, werden der Übersichtlichkeit halber mit „global“ gekennzeichnet.




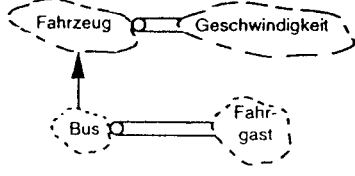
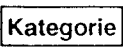
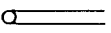
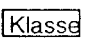
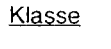
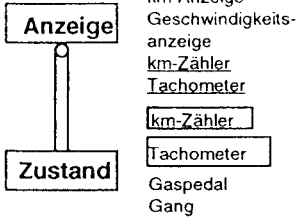

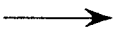
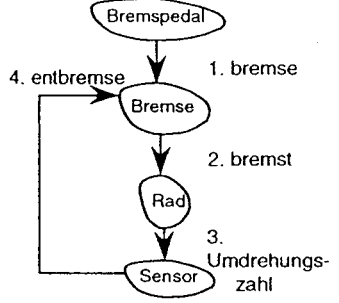


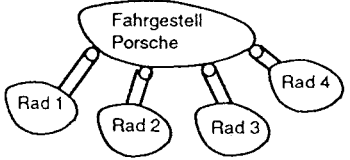
Entwurfshilfsmittel	Symbole	Beispiele
Klassendiagramm	 Klasse  "Hat-ein"-Beziehung  "Ist-ein"-Beziehung	
Kategorien-diagramm	 Kategorie  sichtbare Kategorie  Klasse nach außen sichtbar  Klasse sichtbar	
Objekt-szenario-diagramm	 Objekt  Kommunikationsbeziehung	
Objektinstanzen-diagramm	 Objekt  "Hat-ein"-Beziehung	

Abb. 2.1: Objektorientierte Diagramme nach Booch

Booch unterscheidet grundsätzlich *Objektszenariodiagramme* und *Objektinstanzendiagramme*. Objekte werden in den Diagrammen als Wolken mit durchgezogenen Linien dargestellt und können auch näher spe-

zifiziert werden. Objektinstanzendiagramme stellen analog zu den Klassendiagrammen den statischen Aufbau des Programmes auf der Ebene der Objekte und die „Hat-ein“-Beziehungen der Objekte zueinander dar (Booch 1992a). So stellt Abbildung 2.1 den Aufbau eines Fahrzeuges mit Hilfe eines Objektinstanzendiagrammes dar. Ein Objekt *Fahrgestell Porsche* der Klasse *Fahrgestell* besitzt vier Objekte der Klasse *Rad*. Das Objektszenariodiagramm beschreibt einen Ablauf des Programmes. Es entwickelt ein mögliches Szenario des Austausches der Botschaften unter den Objekten. Die Pfeile zwischen den Objekten stellen die Botschaften dar. In Abbildung 2.1 ist ein mögliches Verhalten der Objekte in einem objektorientierten Programm zur Steuerung eines Anti-Blockier-Systems dargestellt. Darüber hinaus gibt es Diagramme zur Darstellung technischer Realisierung wie Modul- und Prozeßdiagramme.

3. Eine Taxonomie mentaler Modelle

Es sollte heutzutage üblich sein, daß Software-Ingenieure bei der Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen den Prozeß der Arbeit der zukünftigen Nutzer an den Systemen berücksichtigen. Neuere Forschungsergebnisse der Arbeitspsychologie können dazu beitragen, die mentalen Prozesse der Nutzer während ihrer Arbeit besser zu verstehen. Ein wichtiger Aspekt bei der facharbeiterorientierten Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen ist dabei die kognitive Kompatibilität der mentalen Modelle der Nutzer mit den Strukturen der Software. Der Aufbau der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine bzw. Computer sollte die kognitiven Strukturen der Nutzer widerspiegeln.

Im folgenden wird ein theoretischer Ansatz vorgestellt, um unterschiedliche Arten mentaler Modelle zu charakterisieren. Es wird gezeigt, wie diese Theorie zur Analyse der mentalen Modelle der Nutzer angewendet werden kann und damit der Technikentwicklung ein Instrumentarium liefert, um mit den zukünftigen Anwendern Prototypen in einem kooperativen Prozeß zu erarbeiten und zu testen.

Angeregt durch die Arbeiten von Johnson-Laird (1980; 1983) schlugen Hartmann und Eberleh (1991) eine Taxonomie mentaler Modelle vor, die von Hartmann 1995 weiterentwickelt wurde. Wie in Abbildung 3.1 gezeigt, können sechs grundlegende Arten von mentalen Modellen durch

ihre differenzierte Abbildung räumlicher und zeitlicher Strukturen unterschieden werden. Die Spalten der Matrix fassen jeweils mentale Modelle zusammen, die in gleicher Art und Weise zeitliche Strukturen abbilden:

- *statische Modelle*, die nur einen Zeitpunkt bzw. konstante Zustände abbilden können;
- *diskrete Modelle*, die eine Abfolge statischer bzw. eine stroboskopische Abfolge kontinuierlicher Zustände abbilden können;
- *kontinuierliche Modelle*, die kontinuierliche Prozesse abbilden können, jedoch nicht zwingend in Echtzeit.

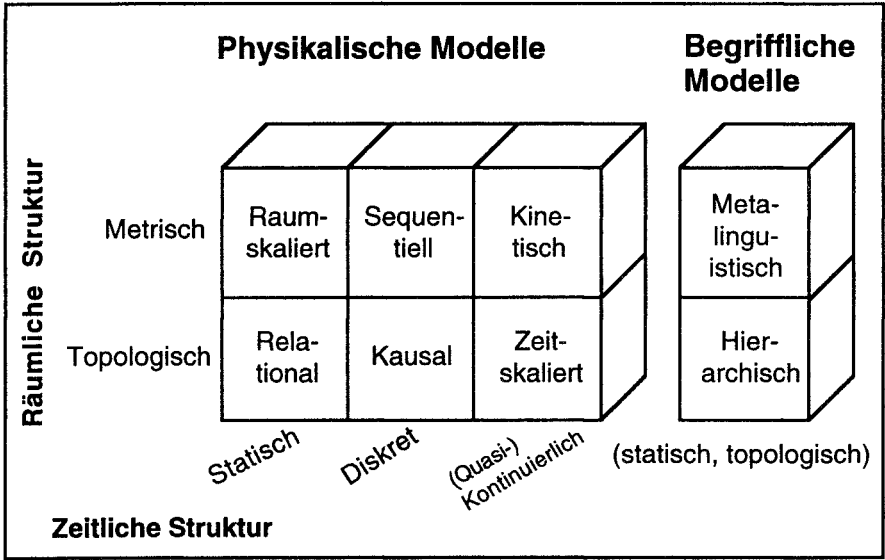


Abb. 3.1: Eine Taxonomie mentaler Modelle

Die mentalen Modelle in der oberen Matrixspalte sind topologisch, weil sie keine Metrik besitzen und Abstände nicht definieren können. Unter ihnen kann man drei Typen unterscheiden: *Relationale Modelle* bilden Eigenschaften von Objekten und ihre Beziehungen zueinander ab. Ein gutes Beispiel ist das Organigramm einer Firma, das nur die funktionalen Beziehungen zwischen den Abteilungen, nicht jedoch den Sitz der Abtei-

lungen im Firmengebäude abbildet. *Kausale Modelle* können Objekte und deren Beziehung zueinander zu fest definierten Zeitpunkten - die aufeinander folgen - abbilden. *Zeitskalierte Modelle* erlauben solche Abbildung in kontinuierlicher Zeit.

Modelle der unteren Spalte der Matrix bilden darüber hinaus Informationen über die metrische räumliche Anordnung ab. Dies ist vergleichbar mit dem mentalen Bild, beispielsweise von einer im Urlaub besuchten Örtlichkeit. Wie kausale und zeitliche Modelle bieten *sequentielle* und *kinetische* Modelle die Möglichkeit, diskrete und kontinuierliche Vorgänge abzubilden. Neben diesen physikalischen Modellen definiert man auch begriffliche mentale Modelle. Diese setzen analoge Wissensinhalte in Beziehung zu sprachlichen Bezeichnungen. Sie sind hinsichtlich ihrer Strukturmerkmale relationale (statische bzw. topologische) Modelle und unterscheiden sich untereinander - ähnlich den physikalischen Modellen - in der Mächtigkeit der Mengen von Objekten, die in ihnen repräsentiert werden können. Im folgenden werden die begrifflichen Modelle in der Reihenfolge aufsteigender Mächtigkeit dargestellt:

- *Metalinguistische Modelle* erlauben die Zuordnung analoger Wissensinhalte zu sprachlichen Bezeichnungen wie z.B. Namen.
- *Hierarchische Modelle* dienen zur Abbildung von Begriffshierarchien (z.B. Unterbegriff „Säge“, Oberbegriff „Werkzeuge“).

Die Taxonomie mentaler Modelle kann die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle unterstützen - z.B. indem man Technikvarianten, die auf unterschiedlichen mentalen Modellen basieren, durch Facharbeiter bewerten läßt.

4. Abbildung mentaler Modelle durch die Objektorientierung

Wie die Taxonomie mentaler Modelle die objektorientierte Software-Entwicklung unterstützen kann, soll am Beispiel der Programmierung einer Benutzeroberfläche für CNC-Maschinen dargestellt werden. Es lassen sich dabei drei Phasen der Problemlösung identifizieren:

- die Modellbildung des Arbeitshandelns mit der Steuerung aus der Sicht des mentalen Modells des Facharbeiters;

- die Wahl einer geeigneten mathematischen Formulierung der Maschinendynamik;
- die Wahl einer geeigneten Programmiersprache und die Übersetzung der mathematischen Beschreibung in die Programmiersprache.

Rückkopplungen zwischen den Phasen sind sinnvoll und notwendig. Die Entscheidungen und Modellierungen in jeder Phase des Problemlöseprozesses müssen miteinander korrespondieren. Bei jeder Phase der Software-Entwicklung sollte auch überprüft werden, ob und inwieweit sich das mentale Modell des Nutzers trotz der Berücksichtigung der Mathematik und der Syntax der Programmiersprache noch in der Software wiederfindet. Die Abbildung und Bewahrung des mentalen Modells in Software-Strukturen können durch eine gemeinsame Sprache und Darstellung von mentalen Modellen der Software-Entwicklung unterstützt werden. Es fragt sich, ob die objektorientierte Programmierung mit ihren Prinzipien und ihrer Notation eine geeignete Methode ist. Diese soll im folgenden durch eine Einordnung dieser objektorientierten Prinzipien und der objektorientierten Diagramme in die Taxonomie mentaler Modelle geschehen (vgl. Abb. 4.1).

Das Konzept des Objektes und der Klasse ist metalinguistisch, da „Objekten“ der realen Welt Begriffe zugeordnet werden. Darin liegt auch eine Stärke der Objektorientierung, daß sie die begrifflichen Objekte des mentalen Modells auf der metalinguistischen Ebene in die Software abbildet. Zwischen diesen Begriffen von „Objekten“ bzw. „Klassen“ lassen sich dann hierarchische Beziehungen bilden und in der Software abbilden. Es stehen zwei Arten der Hierarchisierung zur Verfügung:

- die „Ist-ein“-Hierarchie (Vererbung) und
- die „Hat-ein“-Hierarchie (Datenabstraktion).

Die objektorientierten Prinzipien liegen also sehr stark auf der abstrakten Ebene des begrifflichen Modells und sind damit auch statisch und nur topologisch. Abläufe sequentieller oder kinetischer Art werden nicht unterstützt. Ebenso wird durch den objektorientierten Ansatz die Abbildung von Metriken nicht unterstützt.

Die objektorientierte Notation geht dagegen einen Schritt weiter, da sie neben relationalen auch kausale Zusammenhänge darstellen kann. Da-

bei sind Klassen-, Kategorien- und Objektinstanzendiagramme sehr nützliche Werkzeuge zur Darstellung der Objekte bzw. Klassen und ihrer logischen hierarchischen Beziehungen zueinander. Darüber hinaus können Objektszenariodiagramme und Zustands- oder Übergangsdiagramme auch mentale Modelle kausaler Abläufe darstellen. Da das Moduldiagramm die physische Abspeicherung der Software auf Datenträger wiedergibt und das Prozeßdiagramm die Abläufe in der Hardware, bieten diese Diagramme sogar die Möglichkeit, relationale bzw. kausale, mentale Modelle in der Hardware physisch abzubilden.

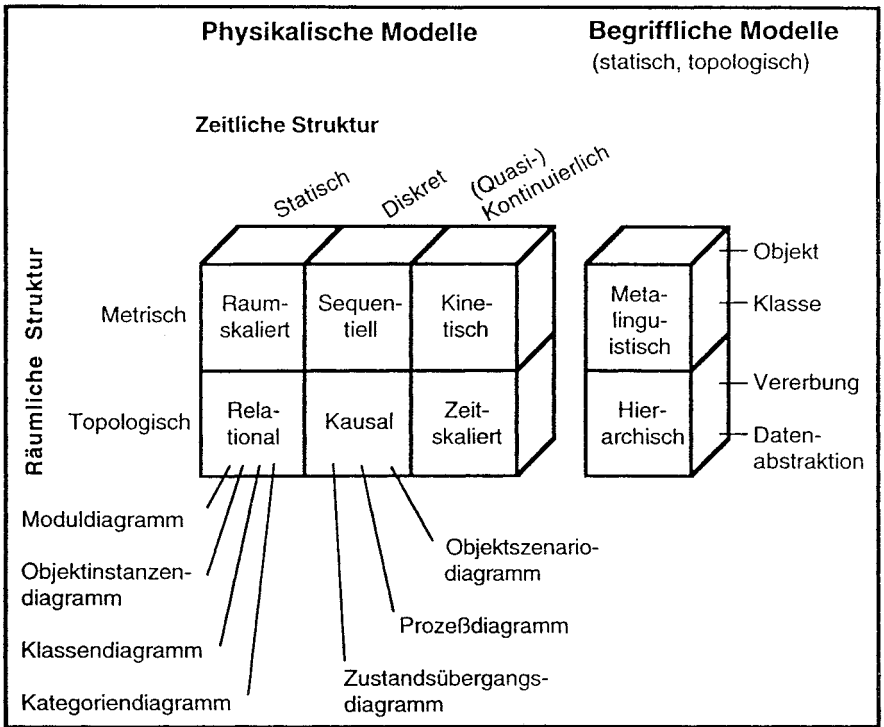


Abb. 4.1: Einordnung der objektorientierten Prinzipien und Diagramme in die Taxonomie mentaler Modelle

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß eine Stärke der objektorientierten Programmierung darin liegt, relationale, kausale und begriffliche mentale Modelle in der Software und zum Teil in der Hardware abzubilden.

den. Metrische und zeitskalierte mentale Modelle werden dagegen nur ungenügend, kinetische gar nicht unterstützt. Das folgende Fallbeispiel soll zeigen, inwieweit diese Eigenschaften gerade zur Entwicklung von CNC-Steuerungs- und Programmier-Software relevant sind.

5. Anwendung auf die CNC-Steuerungs- und Programmier-Software

Um aus Sicht der Theorie mentaler Modelle neue Software für die Steuerung von CNC-Fräsmaschinen zu entwickeln, die auf dem Konzept der objektorientierten Programmierung basiert, ergibt sich nach Hartmann (Hartmann 1995) und Carroll (Carroll u.a. 1991) folgende Vorgehensweise:

- Analyse vorhandener Aufgabenstrukturen und Technik im Bereich des konventionellen und des CNC-FräSENS vor dem Hintergrund der Beschreibung mentaler Modelle;
- Bestimmung einer neuen, Erfahrungen und arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen genügenden Aufgabenstruktur für die Arbeit mit Fräsmaschinen;
- Definition eines Gestaltungsraums auf der Basis mentaler Modelle für neue CNC-Technik;
- Ableitung von konkreten Objekt-, Klassen- und Beziehungsstrukturen für CNC-FräS-Software auf Basis des Gestaltungsraums.

Im Rahmen des hier vorliegenden Beitrags mit Überblickscharakter werden die einzelnen Schritte nicht im Detail aufgeführt, sondern nur zusammenfassend dargestellt.

Im Projekt *InnovatiF* (Innovative Wege zur Handlungsunterstützung des Facharbeiters an Werkzeugmaschinen) - gefördert vom BMBF im Programm Arbeit und Technik - wird aufbauend auf der CNC-plus-Steuerung der Firma Keller (vgl. Fuchs-Frohnhofen 1994) ein Prototyp einer CNC-Fräsmaschine entwickelt, der entsprechend den mentalen Modellen der Facharbeiter gestaltet wird. Es wird versucht, die gedanklichen Vorgänge der Nutzer bei ihrer Arbeit in der Mensch-Maschine-Schnittstelle

abzubilden, so daß die entwickelte Maschine den Facharbeiter effektiv unterstützt.

In diesem Projekt wurde entsprechend *Schritt 1* der oben aufgeführten Vorgehensweise nach Caroll die Aufgabenstruktur bei der Arbeit mit konventionellen und mit CNC-Fräsmaschinen analysiert. Zum Arbeitshandeln des Facharbeiters gehört zu Beginn die Planung der Bearbeitungsstrategie, indem er sich z.B. anhand der Konstruktionszeichnung einen Überblick über das Werkstück verschafft und abschätzt, welche Technik bzw. Maschine eingesetzt werden muß. Danach folgen das Aufspannen, das Programmieren und die Werkzeugauswahl, die Simulation des Fertigungsprozesses, das Einfahren des NC-Programms und anschließend die Prozeßüberwachung.

Aufgrund der Untersuchungen konnten den Handlungen beim CNC-Fräsen bestimmte mentale Modelle zugeordnet werden. In der nebenstehenden Übersicht sind die Handlungen *Überblick über das Werkstück Verschaffen*, *Aufspannen*, *Programmieren* und *Werkzeugauswahl* beim CNC-Fräsen aufgeführt (Spalte 1) und die dabei ablaufenden gedanklichen Prozesse in Spalte 2 kurz beschrieben. Die jeweiligen aus der Taxonomie übertragenen mentalen Modelle werden in Spalte 3 dargestellt.

Um sich eine Übersicht über das Werkstück zu verschaffen, nimmt der Facharbeiter z.B. Maße und Elemente wie Nut oder Bohrung wahr und generiert daraus raumskalierte Modelle. Beim Aufspannen sind dem Facharbeiter bei komplexen Werkstücken die Maße präsent, und er spielt mehrere Möglichkeiten gedanklich durch, was einem sequentiellen mentalen Modell entspricht. Bei der Handlungsanalyse ist zu berücksichtigen, daß mentale Modelle nutzer- und technikabhängig sind, was bei der Entwicklung von Steuerungs- und Programmier-Software beachtet werden muß. So sollten stets mehrere Wege zur Erledigung der Arbeitsaufgabe ermöglicht werden.

In der Übersicht sind bereits neue Aufgabenstrukturen in der mechanischen Teilefertigung berücksichtigt, wie z.B. die eigenständige interaktive Programmierung durch den Facharbeiter direkt an der Maschine. In *Schritt 2* ergeben sich weitere zukünftige Tätigkeitsbereiche wie das Arbeiten in Fertigungsinseln und Gruppen, die selbständige Auftragsplanung und Fertigungssteuerung sowie eine eigenverantwortliche Qualitätsprüfung. Zur Unterstützung der Kooperation in Arbeitsgruppen und über Abteilungsgrenzen hinweg könnten Produktionsinformati-

ons- und Planungssysteme, die in die Steuerung integriert werden, hilfreich sein. Bei diesen teilweise vernetzten Software-Lösungen ist wieder zu untersuchen, wie die objektorientierte Programmierung als sinnvolles Werkzeug eingesetzt werden kann.

Handlungen beim CNC-Fräsen mit dazugehörigen mentalen Modellen

Handlungen beim CNC-Fräsen	Beschreibung der Handlungen	Auf die Handlung bezogene mentale Modelle
Bearbeitungsstrategie planen		
Überblick über das Werkstück	Bei der Übersicht nimmt der Facharbeiter Maße und Elemente wie Nut/Bohrung auf einen Blick wahr und generiert raumskalierte Modelle	raumskaliertes Modell
Aufspannen		
komplexe Werkstücke	Die Maße sind präsent und der Facharbeiter spielt mehrere Möglichkeiten gedanklich durch	sequentielles Modell
einfache Geometrie	Beim Durchgehen mehrerer Aufspannmöglichkeiten sind die genauen Maße nicht präsent	kausales Modell
Programmieren (graphisch interaktiv)		
Auswahl der Kontur (z.B. Radius, Quader)	Die Konturen werden vorerst unter Vernachlässigung ihrer metrischen/räumlichen Verhältnisse schrittweise aus der Zeichnung übernommen	kausales Modell
Abfrage der Geometriemaße	Bei der Geometriemaßeingabe werden metrische Verhältnisse berücksichtigt, die schrittweise aus der Zeichnung übernommen werden	sequentielles Modell
Werkzeugauswahl		
Werkzeugauswahl über graphische Darstellung in einer Auswahlbox	Auswahl über die Abbildung des Werkzeugs unter Berücksichtigung der Metrik	raumskaliertes Modell

Über *Schritt 3* - der Konzeption einer neuen Mensch-Maschine-Schnittstelle auf Basis der mentalen Modelle - werden in *Schritt 4* konkrete Objekt-, Klassen- und Beziehungsstrukturen für die CNC-Fräs-Software abgeleitet, wie in Abbildung 5.1 dargestellt. Es zeigt sich, daß die beschriebenen Handlungen auf Basis der jeweiligen mentalen Modelle durch die objektorientierte Programmierung abgebildet werden können.

Der Überblick über das Werkstück kann in der Programmierung z.B. durch ein Objektinstanzendiagramm abgebildet werden. Hier hat das Objekt Werkstück eine Nut, eine Bohrung und eine Fase. Die Auswahl der Kontur und die Abfrage der Geometriewerte bei der graphisch interaktiven NC-Programmierung können durch ein Objektszenariodiagramm abgebildet werden. Dabei wird ein Szenario des Austausches von Botschaften zwischen den Objekten beschrieben. So gibt das Objekt *Geometrieauswahl* die Botschaft *Auswählen* an das Objekt *Geometrieelement*, das wiederum die Botschaft *Maß bestimmen* an das Objekt *Radius* weitergibt.

Bei der Simulation (kinetisches mentales Modell), dem Einfahren des Programmes (zeitskaliertes oder - wenn satzweise - sequentielles mentales Modell) und der Prozeßüberwachung (zeitskaliertes mentales Modell) beobachtet der Facharbeiter die Abläufe und greift lediglich bei auftretenden Störungen und Fehlern regulierend und optimierend in den Prozeß ein. Bei diesen Tätigkeiten ist die objektorientierte Unterstützung irrelevant; wichtig sind dagegen Möglichkeiten zur Prozeßunterbrechung und die freie Wahl des Wiedereinstiegspunktes in das NC-Programm zum weiteren Fertigungsablauf. Daß die objektorientierte Programmierung keine Handlungen unterstützt, bei denen kontinuierliche mentale Modelle generiert werden, wirkt sich aus diesem Grund bei der Anwendung auf die CNC-Steuerungs- und Programmier-Software nicht nachteilig aus.

6. Handlungsbedarf

Durch die oben beschriebenen Möglichkeiten, Handlungen des Facharbeiters auf Basis der jeweiligen mentalen Modelle objektorientiert darzustellen, können die Denkweise der Nutzer in der CNC-Steuerung abgebildet und der Umgang mit der Werkzeugmaschine erleichtert werden.

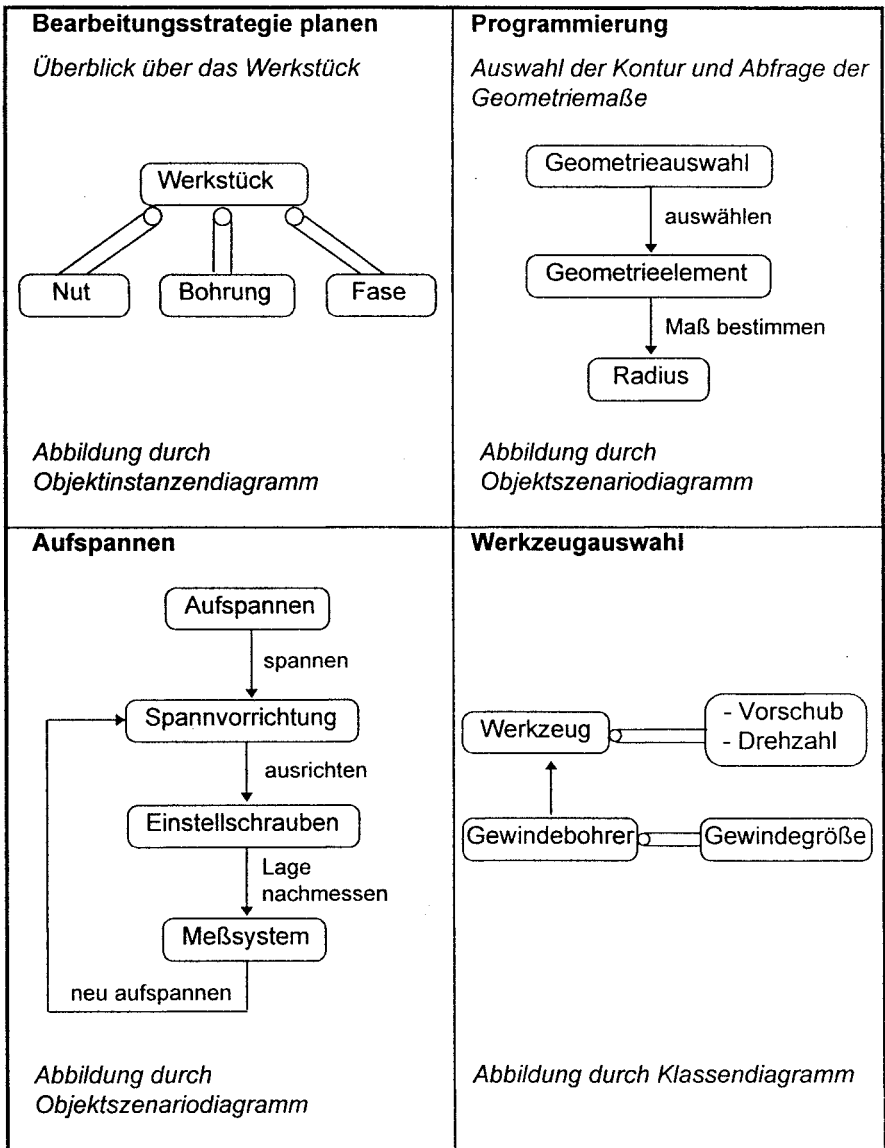


Abb. 5.1: Abbildungsmöglichkeiten der Handlungen beim CNC-Fräsen durch die objektorientierte Programmierung

Der Facharbeiter findet sich besser mit der Technik zurecht und kann die steuerungstechnischen Vorgänge ohne Probleme stets nachvollziehen.

Ergänzend dazu hilft der modulare Aufbau der Steuerungs-Software durch die objektorientierte Programmierung dabei, neuen Aufgabenstellungen der Nutzer gerecht zu werden, und unterstützt die *Erweiterbarkeit* und die Anpassung der Benutzeroberfläche an die sich im Verlauf der Zeit verändernden Anforderungen und Bedürfnisse der Facharbeiter. Die *Wiederverwendbarkeit* von Modulen senkt den Programmieraufwand und verhindert z.B. das Neuschreiben von Routinen. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß entsprechende Module überhaupt existieren, daß sie auffindbar sind und der Software-Entwickler Zugriff darauf hat. Daraus ergibt sich die Forderung nach einer modularen, übersichtlichen und gut dokumentierten Programmierung.

Bei der objektorientierten Programmierung könnte der Facharbeiter über Menüs sein eigenes Benutzersystem zusammenstellen und bei Bedarf Module anfügen, die ihn bei der Ausübung neuer Tätigkeiten unterstützen. Beispiele für eingefügte Module könnten *Arbeitsschritte*, *Unterprogramme* oder *Zyklen* sein (vgl. Knuth 1992). Eine entsprechend aufgebaute CNC-Programmier-Software wird der Anforderung nach einer individuellen Modifizierbarkeit gerecht, wobei der Weg zur Erreichung des Arbeitsziels selbst gewählt werden kann.

Wichtig bei der Entwicklung objektorientierter CNC-Programmier-Software ist die Einbeziehung der Nutzer in den Prozeß. Der erfahrene Facharbeiter sollte bereits in die Grundüberlegungen zum Programmmentwurf eingebunden werden und parallel zur Entwicklung immer wieder bereits realisierte Programm-Module testen, z.B. in Form von Prototyping. Das Auffinden von Klassen, Objekten und den zugehörigen Eigenschaften ist eine zentrale Aufgabe bei der Software-Entwicklung. Wichtig ist, daß die abstrakten objektorientierten Diagramme in eine facharbeitergerechte Sprache gefaßt werden. Gute Erfahrungen wurden mit der Darstellung von Klassen und Objekten durch „mock-ups“ und Papiermodelle gemacht. Dadurch kann der Facharbeiter seine Erfahrungen und Gedanken so einbringen, daß die Software-Struktur und die gemeinsam erarbeiteten objektorientierten Diagramme für ihn einfach nachvollziehbar sind und die mentalen Modelle berücksichtigt werden können.

Nur durch diese enge Zusammenarbeit von Software-Entwicklern und Anwendern kann letztlich eine CNC-Steuerung entstehen, die den Ar-

beitsprozeß effektiv unterstützt. Zu prüfen ist, wie die gemeinsam entwickelten Konzepte anschließend in eine Software entsprechend übertragen werden können.

Literatur

- Booch, G.: Objectoriented Analysis and Design, London 1991.
- Booch, G.: The Booch Method: Notation, Santa Clara/Californien 1992.
- Booch, G.: OOA/OOD nach der Booch-Methode, Seminarvortrag von Rational Rose GmbH am 05.11.1992 in Langen/Hessen, Vortragsunterlagen, Langen 1992a.
- Booch, G.: Object-oriented Analysis and Design, London 1993.
- Bussmann, H.: Lexikon der Sprachwissenschaft, Stuttgart 1983.
- Caroll, J.M.; Kellogg, W.A.; Rosson, M.M.: The Task-Artifact Cycle. In: J.M. Caroll (ed.): Designing Interaction - Psychology at the Human-Computer Interface, Cambridge 1991.
- Fuchs-Frohnhofen, P.: Zur facharbeiterorientierten Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle bei CNC-Drehmaschinen, Aachen 1994.
- Hartmann, E.A.: Designing Human-Machine Interfaces to Match the User's Mental Models - An Issue of Interdisciplinary Research and Education, Proc. Inf. Conf. Multimedia Vaasa, Finnland '94, mimeographed, Vaasa, 8.-10. Juni 1994.
- Hartmann, E.A.: Eine Methodik zur Gestaltung kognitiv kompatibler Mensch-Maschine-Schnittstellen angewendet am Beispiel der Steuerung einer CNC-Drehmaschine, Diss., Aachen 1995.
- Hartmann, E.A.; Eberleh, E.: Inkompatibilität zwischen mentalen und rechner-internen Modellen im rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß. In: D. Ackermann; E. Ulich (Hrsg.): Software-Ergonomie '91 - Benutzerorientierte Software-Entwicklung, Stuttgart 1991, S. 301-310.
- Henning, K.; Kutscha, S.: Eignung der objektorientierten Programmiersprache C++ für Programmierzwecke des Schwerpunktprogrammes „Dynamik von Mehrkörpersystemen“, DFG-Forschungsbericht, Aachen 1991.
- Henning, K.; Kutscha, S.: Informatik im Maschinenbau, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1994.
- Johnson-Laird, P.N.: Mental Models in Cognitive Science. In: Cognitive Science, no. 4, 1980, pp. 71-115.
- Johnson-Laird, P.N.: Mental Models, Cambridge 1983.
- Knuth, P.: Objektorientiertes Programmieren - ein geeignetes Hilfsmittel zur Erstellung facharbeitergerechter Programmier-Software für CNC-Drehmaschinen, Studienarbeit am IMA/HDZ, RWTH Aachen, Aachen 1992.

- Messelken, M.; Kutscha, S.: Objektorientiertes Programmieren in der Praxis mit C++, Handbuch, VDI-Bildungswerk, Düsseldorf 1993.
- Meyer, B.: Objektorientierte Software-Entwicklung, München/Wien/London 1990.
- Monarchi, D.E.; Puhr, G.I.: A Research Typology for Object-oriented Analysis and Design. In: ACM (Communications of the Association for Computing Machinery), no. 9, vol. 35, 1992, pp. 35-46.
- Palmer, S.E.: Fundamental Aspects of Cognitive Repräsentation. In: E. Rosh; B.B. Lloyd (eds.): Cognition and Categorization, Hillsdale/N.J. 1978.
- Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlami, W.; Frederich, E.; Lorensen, W.: Object-oriented Modeling and Design, London 1991.
- Schäfer, G.: Coad & Yourdan, Rumbaugh et al., Booch - Objektorientierte Entwurfsverfahren im Überblick. In: Tagungsunterlagen zur GUUG-Tagung 1992, Wiesbaden, 22.-24. September 1992.
- Tschiersch, I.: Eignung des objektorientierten Programmentwurfs für Problemstellungen der Mehrkörperdynamik, VDI-Fortschritt-Bericht Nr. 316, Reihe 10: Informatik/Kommunikationstechnik, Düsseldorf 1994.

Objektorientierte Modellierung eines Planungs- und Informationssystems in der Produktionslogistik

1. Einführung
2. Abstraktion der Objekte der Produktionslogistik
3. Aggregation der Objekte aus der Produktion
4. Zusammenfassung und Ausblick

1. Einführung

Fertigungsplanungs- und Informationssysteme werden seit geraumer Zeit als wesentliches Instrument bei der Durchsetzung der Planung in der Produktion angesehen (Strack 1986; Nicolai 1991). Hierzu sind unterschiedliche Systeme bekannt, die von der klassischen manuellen Plantafel bis zu dem rechnerbasierten CIM-Leitstand reichen. Eine Beherrschung der z.B. in der Werkstatt vorliegenden Informationen ist aufgrund des Umfangs und der Vielfalt nur möglich, wenn es gelingt, den großen Teil der Routinearbeit auf Computersysteme zu übertragen (Lippold, Schulz 1991).

In jeder Produktion sind unterschiedliche Anforderungen anzutreffen, welche auch andere Eigenschaften von dem steuernden Planungs- und Informationssystem fordern. Diese Anforderungen erstrecken sich von der Anpassung an die durch das übergeordnete PPS-System vorgegebenen Planungsstrategie (Kernler 1991) über die Ankopplung unterschiedlichster Werkzeugmaschinen via DNC bis zum Einsatz spezifisch an eine Produktion angepaßter Planungsalgorithmen. Die sich hieraus ergebenden Anforderungen lassen sich durch Standardsysteme nur begrenzt erfüllen. Schon beim Einsatz einer bestimmten BDE-Lösung sind häufig Anpassungen erforderlich (Reisch u.a. 1991). Zwar können die am Markt befindlichen Leitstände spezifische Einzellösungen hierfür anbie-

ten, doch gilt für eine Anpassung dieser Produkte an spezifische Firmeneigenschaften, daß diese nur begrenzt möglich und zumeist sehr aufwendig ist (Otterbein 1991).

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, zukünftige Planungs- und Informationssysteme nach anderen Kriterien zu bauen, als dies bisher geschehen ist (Reisch u.a. 1991). Ziel muß es vor allem sein, änder-, wart- und erweiterbare Systeme zu erstellen.

2. Abstraktion der Objekte der Produktionslogistik

Im folgenden Kapitel werden die Modelle, die der Planungs- und Informationssystemarchitektur zugrundeliegen, vorgestellt.

2.1 Bezeichnungen

Um die in diesem Abschnitt einzuführende Architektur von anderen Architekturen unterscheiden zu können, wird diese im folgenden als „Objektorientierte Planungs- und Informationssystemarchitektur“ (OPIA) bezeichnet.

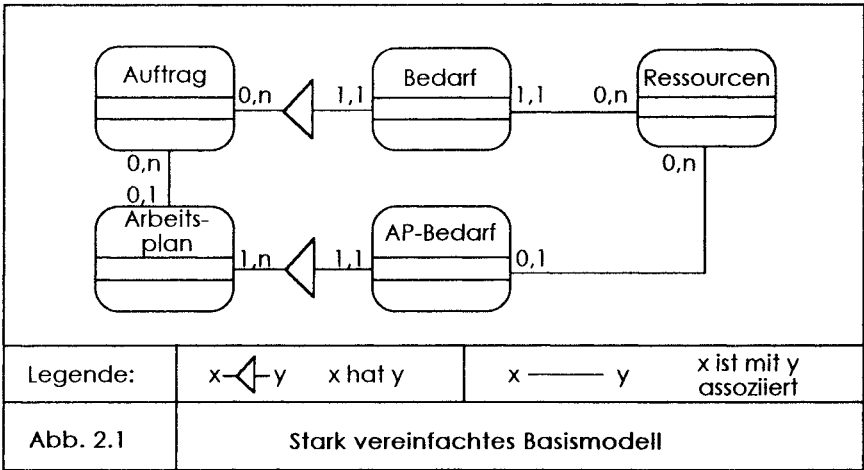
Da OPIA nur die Architektur selbst bezeichnet, nicht jedoch Systeme, die auf dieser Architektur aufbauen, müssen diese unterschieden werden. Sie werden im folgenden mit „Objektorientiertes Applikationsspezifisches Planungs- und Informationssystem“ (OAPIS) bezeichnet.

OAPIS müssen mit anderen Produktionssteuerungssystemen kooperieren. Diese werden unter dem Begriff „Allgemeine Produktionssteuerungssysteme“ (APSS) gewählt. Zu APSS gehören auf der einen Seite PPS-Systeme, auf der anderen Seite flexible Fertigungssysteme oder BDE-Systeme. Aufgrund der Definition ist auch ein OAPIS ein APSS.

Innerhalb der Architektur differenziert man in unterschiedliche Arten von Objekten. Hierbei sind vor allem innere Repräsentationen von Objekten der realen Welt, z.B. Ressourcen, Produktionsaufträgen u.a., von Bedeutung.

2.2 Basismodell

Innerhalb eines Planungs- und Informationssystems sind zur Durchführung der Einplanung die Objekttypen „Auftrag“ (Produktionsaufträge und Arbeitsgänge), „Arbeitsplan“ und „Ressource“ vorzufinden. Die gegenseitige Beziehung dieser Objekttypen ist in Abbildung 2.1 als Coad/Yourdon-Diagramm (Coad, Yourdon 1990) dargestellt.



Ausgehend von dieser stark vereinfachten Sichtweise werden die einzelnen Teilmodelle in den folgenden Abschnitten entwickelt.

2.3 Arbeitspläne mit Arbeitsplan-Bedarf

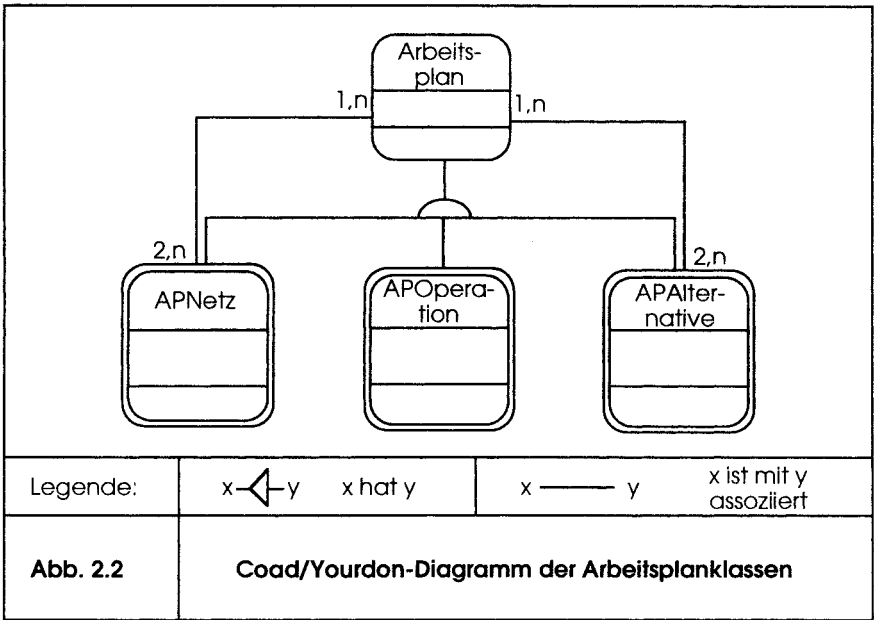
Der Arbeitsplan (AP) ist die aufgabenbezogene Beschreibung der notwendigen Tätigkeiten, die zur Produktion eines bestimmten Gutes benötigt werden. Im Einzelfall hat diese Beschreibung sehr unterschiedliche Formen: sei es die Beschreibung einer Montagetätigkeit oder eine Rezeptur in der Chemischen Industrie. Die OPIA kann aufgrund ihres Allgemeinheitsgrades keine solch spezifischen Arbeitspläne, die die Umsetzung konkreter Produktionstechnologien beschreiben, enthalten. Die Zielsetzung der OPIA ist es vielmehr, einen strukturellen Rahmen zur Darstellung solcher technologiespezifischer Arbeitspläne zu schaffen.

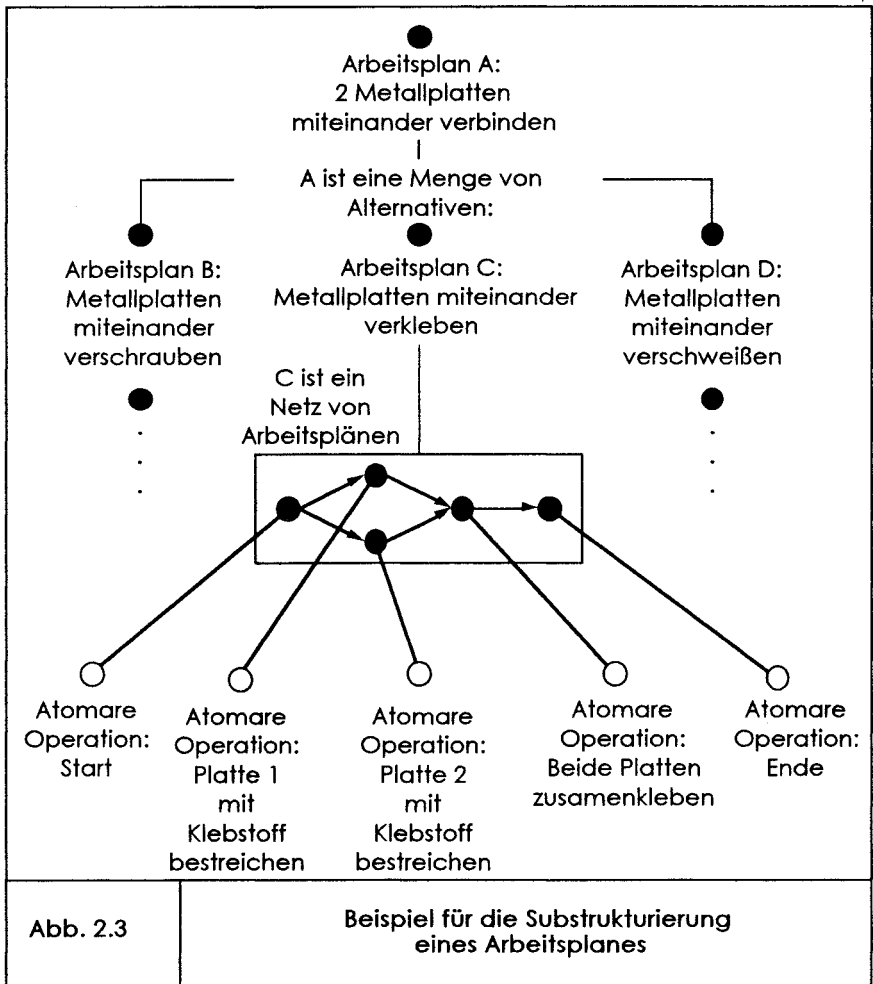
Die Anforderungen an Arbeitspläne in einem Planungs- und Informationssystem lassen sich mit dem folgenden System von rekursiven Definitionen erfüllen:

- Ein Arbeitsplan kann eine atomare Operation darstellen, dies entspricht einem konventionellen Arbeitsvorgang.
- Ein Arbeitsplan kann eine bestimmte Arbeit in eine Menge kleinerer Arbeiten zerlegen, die durch ein Netz in zeitliche Beziehungen zueinander gebracht werden.
- Ein Arbeitsplan kann eine Menge von alternativen Arbeitsplänen sein.

2.3.1 Modell für Arbeitspläne

Die Definitionen führen zu dem in Abbildung 2.2 wiedergegebenen Coad/Yourdon-Diagramm für Arbeitspläne. Ein Beispiel für die Wirkungsweise der so dargestellten Arbeitspläne ist in Abbildung 2.3 wiedergegeben.





Mit dem vorgestellten Modell können beliebig komplexe Arbeitspläne für beliebig komplexe Objekte (z.B. Autos) zunächst einfach dargestellt werden. Details des Arbeitsplanes sind zunächst verborgen, vielfach sogar erst nach dem Treffen von Auswahlentscheidungen (z.B. Auswahl eines der alternativen Detailarbeitspläne) verfügbar. Trotzdem hat der aggregierte Arbeitsplan schon soviel detaillierte und wirklichkeitsgetreue Informationen, um im Einplanungsbereich aufgrund dieser Informationen realistische Entscheidungen treffen zu können.

2.3.2 Attribute von Arbeitsplänen

Bezogen auf das Beispiel in Abbildung 2.3 muß festgelegt werden, *welche* Attribute des Arbeitsplans A „Metallplatten verbinden“ *wie* aus den Attributen der verschiedenen Alternativen B „Metallplatten verschrauben“, C „Metallplatten verkleben“ und D „Metallplatten verschweißen“ abgeleitet werden können. Diese Informationen sind die Dauer einer bestimmten Arbeit und die benötigten Ressourcen.

2.3.2.1 Verschiedene Zeitspannen

Die Dauer von atomaren Operationen kann in den meisten Technologien exakt angegeben werden, so daß atomare Operationen leicht geplant werden können.

Im Falle von alternativen Arbeitsplänen ist eine exakte Festlegung der Zeitspanne schwierig, da die verschiedenen Alternativen unterschiedliche Dauer haben können. Die Dauer steht erst nach einer getroffenen Entscheidung fest.

Somit kann hier nur noch mit Durchschnitts- oder Schätzwerten gearbeitet werden, die als Basis für eine Planung dienen müssen.

2.3.2.2 Berechnung der Dauer für unterschiedliche Mengen

Arbeitspläne als solche haben keine Angabe über die Menge, sie sind vielmehr in der Mehrzahl der Fälle mengenneutral ausgelegt, z.B. indem die angegebenen Zeitspannen für die Menge 1 genannt werden und hieraus die Dauer für eine bestimmte Menge errechnet wird. In vielen Fällen kann dies durch einfache Multiplikation der Dauer mit der Menge geschehen. Dies gilt jedoch nicht für Vorgänge, die los-orientiert abgearbeitet werden; z.B. spielt es für eine Tauchlackieranlage keine Rolle, wieviele Objekte gleichzeitig tauchlackiert werden, solange diese volumenmäßig in das Tauchlackierbad hineinpassen. Sowohl ein einzelnes Stück als auch ein ganzes Los benötigen dieselbe Zeit.

Deshalb müssen in einem Arbeitsplan Regeln enthalten sein, nach denen sich die Dauer für eine bestimmte Menge berechnen läßt.

2.3.2.3 Ressourcen im AP-Bedarf

Ein abstrahierter Arbeitsplan muß neben der Dauer auch Angaben über die zur Ausführung der Aufgabe benötigten Ressourcen machen. Diese Information umfaßt nicht nur die benötigten Materialien, sondern auch die unterschiedlichen Produktionsmittel (Service-Ressourcen). Des weiteren sind die erzeugten Materialien von Interesse, seien dies erzeugte Zwischenprodukte, das Endprodukt oder Abfallprodukte. Diese Information wird im AP-Bedarf zusammengefaßt.

Für eine atomare Operation sind die Eingangs-Ressourcen alle Eingangsmaterialien und die Service-Ressourcen alle benötigten Produktionsmittel. Die Menge der Ausgangs-Ressourcen sind Ausgangsmaterialien. Jede Position hat eine bestimmte Menge an Ein- sowie Ausgangs-Ressourcen. Jede Eingangs-Ressource muß mit einer Ausgangs-Ressource einer anderen Position übereinstimmen, wobei Teilmengenbildung sowie das Zusammenlegen von Mengen möglich sind. Hierdurch sind viele Reihenfolgebeziehungen gegeben, die jedoch zumeist außerhalb eines bestimmten Arbeitsplanes liegen.

Für eine Menge von alternativen Arbeitsplänen ist die Angabe der benötigten und erzeugten Ressourcen nicht mehr uneingeschränkt möglich, da diese von dem jeweiligen alternativen Arbeitsplan abhängen kann. Es kann aber Situationen geben, in denen alle alternativen Arbeitspläne identische Ein- und Ausgangs-Ressourcen haben. In diesem Falle kann auch für den übergeordneten Arbeitsplan eine vollständige Menge der benötigten Ein-/Ausgangs-Ressourcen angegeben werden. Diese Möglichkeit ist insbesondere bei notwendigen langfristigen Materialbestellungen sehr hilfreich.

Für ein Netz von Arbeitsplänen sind die verschiedenen Ein- und Ausgangs-Ressourcen die Summe der Ein-/Ausgangs-Ressourcen der einzelnen Teilarbeitspläne. Dabei werden Eingangs-Ressourcen, die durch Ausgangs-Ressourcen anderer Teilarbeitspläne desselben Netzes gedeckt werden, nicht berücksichtigt, d.h., diese Ressourcen werden nicht als benötigt/erzeugt nach außerhalb des Netzes gegeben.

Somit ergeben sich für jeden Typ von Arbeitsplan folgende Informationen bezüglich der Ressourcen:

- Liste der Eingangs-Ressourcen: Dies ist eine Menge von AP-Bedarfen, für die jeweils angegeben ist, in welchem Umfang sie gebraucht werden.
- Liste der Service-Ressourcen: Dies ist die Menge aller AP-Bedarfe an Produktionsmitteln, für die angegeben wird, in welchem Zeitraum sie benötigt werden.
- Liste der Ausgangs-Ressourcen: Dies ist eine Menge von AP-Bedarfen, für die jeweils angegeben ist, ab wann sie zur Verfügung stehen.

2.4 Bedarfe

2.4.1 Modell des Bedarfs

Ein Bedarfsnetz besteht aus Kanten, die jeweils einen Auftrag mit einer Ressource verbinden. Diese Kante ist ein einzelner Bedarf. Durch eine Kante wird für einen bestimmten Auftrag eine bestimmte Ressource angefordert. Ein Auftrag kann mehrere Ressourcen benötigen, während eine Ressource von mehreren Aufträgen belegt werden kann.

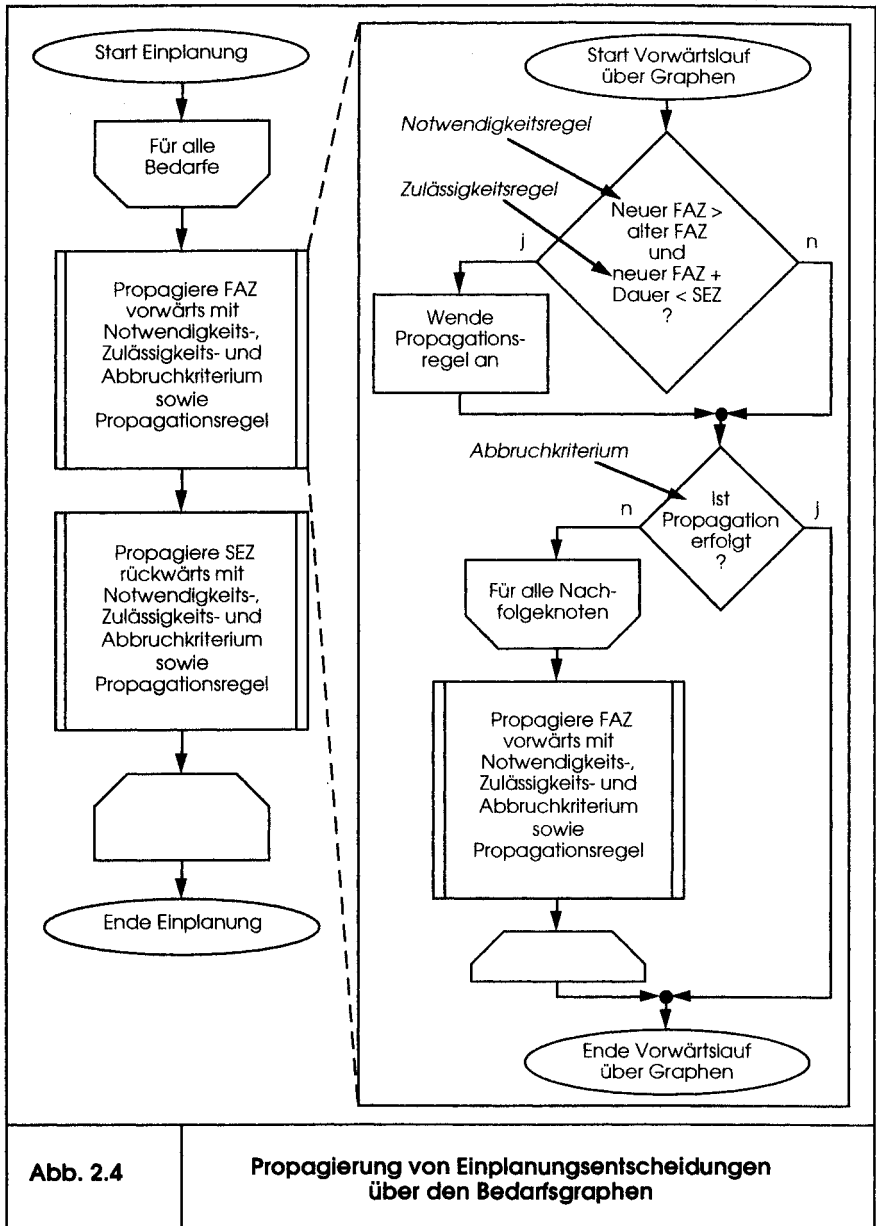
Ergänzend hierzu werden weitere Informationen über Zeitpunkt und Umfang eines Bedarfes an einer Ressource in Attributen des Bedarfs erfaßt.

Diese Attribute müssen nicht immer mit Werten belegt sein. Insbesondere für den Zeitpunkt ist es ebenso möglich, daß der Zeitpunkt nur durch eine Vorgänger-/Nachfolger-Beziehung festgelegt ist, daß hier also die Reihenfolge von Bedarfen über einen Zeitpunkt entscheidet.

Jeder Bedarf, d.h. jede Kante des Bedarfsnetzes, ist somit Knoten in einem gerichteten Graphen, welcher die Reihenfolge der einzelnen Bedarfe festlegt. Aus dem Bedarfsnetz ist ein Bedarfsgraph geworden.

2.4.2 Wirkungsweise des Bedarfs

Ein Bedarf gibt einen zeitlichen Rahmen vor, der durch seinen frühesten Anfangszeitpunkt (FAZ) und spätesten Endezeitpunkt (SEZ) festgelegt



ist. Diese beiden Grenzen müssen mindestens um den durch die Dauer definierten Zeitraum auseinanderliegen. FAZ und SEZ ihrerseits unterliegen wiederum Grenzen, die durch ihre Vorgänger bzw. Nachfolger oder aber durch den zugrundeliegenden Auftrag gegeben sind.

Hintergrund der gewählten Modellierung ist die Notwendigkeit einer flexiblen Einplanung: Durch den gerichteten Graphen, der die Reihenfolge der Bedarfe festlegt, und die Grenzfestsetzung durch den Auftrag kann während eines beliebigen Einplanungsalgorithmus leicht überprüft werden, ob eine Planungsentscheidung auf einen Konflikt stößt oder nicht. Solange die obengenannten Bedingungen eingehalten werden, liegt kein Konflikt vor.

Die Feststellung der Machbarkeit kann mit einer Propagierung verknüpft werden: Eine Planungsentscheidung für einen Bedarf legt für nachfolgende Bedarfe deren FAZ sowie für vorangehende Bedarfe deren SEZ fest. Ausgehend von dem entschiedenen Bedarf wird deshalb über den Graphen der FAZ aller Nachfolger bzw. der SEZ aller Vorgänger propagiert und gleichzeitig auf Einhaltung obiger Regeln geachtet.

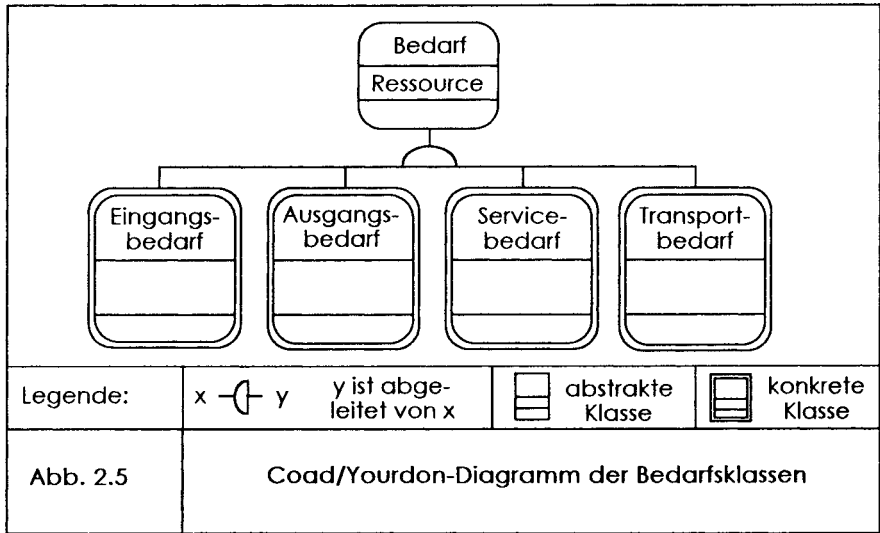
Der Algorithmus für die Propagierung ist in Abbildung 2.4 anhand des einfachen Falles einer Propagierung, die abbricht, wenn sie auf einen Konflikt stößt, dargestellt.

2.4.3 Klassen für Bedarf

Das Modell des Bedarfs läßt sich durch die in Abbildung 2.1 abgebildeten Klassen ableiten. Ein einzelner Bedarf ist eine Assoziation zwischen einem Auftrag und einer Ressource.

Der Bedarf gliedert sich in vier konkrete Ausprägungen (vgl. Abb. 2.5). Durch einen Eingangsbedarf wird dargestellt, welche Ressourcen nicht-kapazitiver Art für einen Arbeitsgang benötigt werden. Sie stellen das Pendant zur Stückliste in herkömmlicher Form dar. Der Ausgangsbedarf bildet ebenfalls eine Verbindung zu nicht-kapazitiven Ressourcen. Durch ihn werden die durch den Arbeitsschritt entstehenden Zwischen-, End- und Reststoffe gekennzeichnet. Eine Befriedigung des Eingangsbedarfs kann nur durch die Verbindung mit einem entsprechenden Ausgangsbedarf erfolgen.

Um einen Arbeitsgang auszuführen, bedarf es entsprechender kapazitiver Ressourcen, welche über den Servicebedarf an diesen gebunden werden. Das Verhalten dieser kapazitiven Ressourcen bestimmt den Übergang vom Eingangsbedarf zum Ausgangsbedarf.



Der Transportbedarf ist ebenfalls ein Service, welcher sich auf die dem Arbeitsgang zugeordneten Ressource auswirkt. Dabei wird nicht die Ressource selbst, sondern nur ihr Standort verändert.

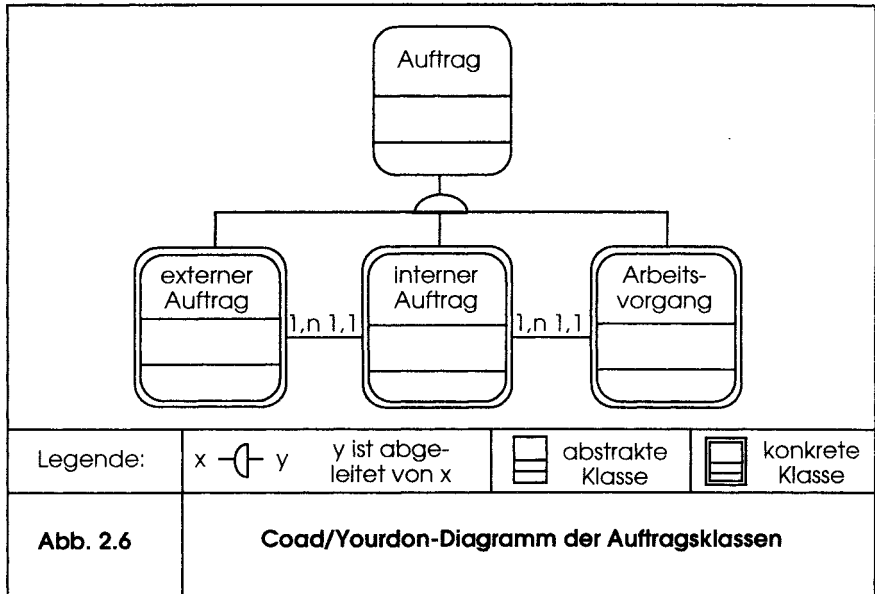
2.5 Aufträge

2.5.1 Substrukturierung von Aufträgen

Aufgrund der gegebenen Anforderungen an Planungs- und Informationssysteme müssen auch substrukturierte Aufträge verwaltet werden können. Dies bedeutet, daß ein Auftrag nicht nur in Arbeitsgänge, sondern wiederum in Aufträge zerlegt werden kann.

2.5.2 Modell für Aufträge

Aufgrund des obigen Kooperationsmechanismus sowie der geforderten Substrukturierung können Aufträge, wie in Abbildung 2.6 dargestellt, modelliert werden.



Ein in den OAPIS eingehender Auftrag, der dem Produktionsauftrag (externer Auftrag) entspricht, ist entweder ein Arbeitsvorgang oder besteht aus einem oder mehreren Subaufträgen (interner Auftrag). Diese Subaufträge stehen aufgrund des Arbeitsplanes in einer Reihenfolgebeziehung.

2.6 Ressourcen

Zur Ausführung einer Aufgabe wird der Einsatz ein oder mehrerer Ressourcen (z.B. Maschine, Bediener oder Werkzeug) benötigt. Jede dieser Ressourcen zeigt ein unterschiedliches Detailverhalten, sie wird durch unterschiedliche Attribute beschrieben. Zwar ist im Rahmen der OPIA nur das für die Planung nötige Verhalten - ausgedrückt durch eine gene-

relle Verfügbarkeit, verfügbare Kapazität o.ä. - von Bedeutung, doch unterscheidet sich auch dieses für unterschiedliche Typen von Ressourcen.

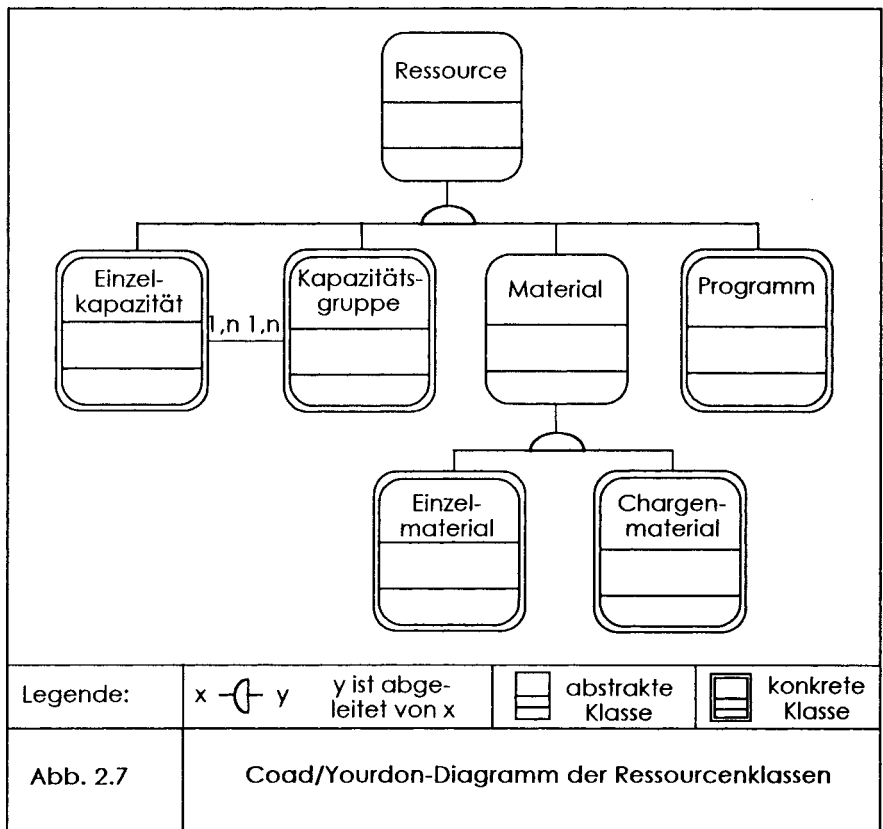
Für die angestrebte Abstraktion ist auf der einen Seite eine Darstellung dieses unterschiedlichen Verhaltens verschiedener Ressourcen notwendig, auf der anderen Seite muß auch auf allgemeiner Ebene die Belegung einer Ressource durch einen Auftrag darstellbar sein. Somit sind im Modell zum einen Klassen für die unterschiedlichen Ressourcen vorzusehen, zum anderen müssen diese Klassen auch unter dem gemeinsamen Oberbegriff der Ressource ansprechbar sein. Deshalb wird eine Klasse „Ressource“ eingeführt, von welcher die unterschiedlichen Ressourcen-Typen abzuleiten sind.

Eine weitergehende Unterscheidung der Objekte vom Typ „Ressource“ ist zwischen einzelnen Kapazitäten (z.B. Maschine, Werkzeug, Bediener), aggregierten Kapazitäten (z.B. Maschinengruppe, Flexibles Fertigungssystem), Material und DV-Information (z.B. NC-Programm) zu sehen: Während Einzelkapazitäten nicht weiter aufteilbar sind, sind aggregierte Kapazitäten solche, die sich aus mehreren Einzelkapazitäten zusammensetzen. Material zeichnet sich durch ein Verbrauchsverhalten aus, während für die Verplanung von DV-Information lediglich die Frage der Existenz von Bedeutung ist. Schließlich kann eine solche Information ohne Aufwand beliebig vervielfältigt werden.

Hierfür werden folgende Klassen eingeführt, die alle von Ressource abgeleitet sind:

- Einzelkapazität,
- Kapazitätsgruppe,
- Material und
- Programm.

Diese Klassen sowie weitere Spezialisierungen (vgl. Abb. 2.7) werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.



2.6.1 Einzelkapazitäten

Einzelkapazität ist die Zusammenfassung der einfachen kapazitiven Ressourcen. Hierunter sind zu verstehen:

- Maschinen,
- Werkzeuge, Halteverrichtungen u.ä. sowie
- Menschen.

Einzelkapazität ist damit diejenige Klasse, die die in derzeit verfügbaren Planungs- und Informationssystemen verwalteten Ressourcen darstellt.

Alle diese Ressourcen haben ein kapazitives Verhalten. Sie werden für eine bestimmte Zeit benutzt. Da sie hierbei nur einem geringfügigen Verschleiß unterliegen, stehen sie anschließend wieder zur Verfügung. Außerdem unterliegt ihre Nutzung äußeren starren Einflüssen, die vor allem durch Ruhepausen verursacht werden: Ein Mensch kann nur eine bestimmte Zeit pro Tag arbeiten, auch diese Zeit unterliegt weiteren Reglementierungen, z.B. für Pausen zur Nahrungsaufnahme. Maschinen haben gewöhnlich keine so ausgeprägten Ruhezeiten, dafür aber gewisse Zyklen, innerhalb derer sie gewartet werden müssen.

Während Maschinen und Menschen auf den ersten Blick mit solch periodischem Verhalten beschrieben werden können, stellt sich das Verhalten bei Werkzeugen etwas komplizierter dar. Neben den periodischen Einflüssen unterliegen Werkzeuge vor allem dem Verschleiß und müssen zusätzlich abhängig von der jeweiligen Nutzung Ruhepausen erhalten. Ein solches nutzungsabhängiges Verhalten ist in einigen Fällen auch bei Menschen und Maschinen gegeben.

Aus diesem Verhalten lassen sich für die Klasse Einzelkapazität folgende Attribute ableiten, aus denen sich die verfügbare Kapazität leicht errechnen läßt:

- Zeitplan: Hiermit wird dargestellt, wann die Ressource generell verplanbar ist und wann nicht.
- Verschleißregel: Hiermit wird dargestellt, welchem Verschleiß die Ressource unterliegt und wann sie deshalb nicht mehr einsatzfähig bzw. zumindest wartungsbedürftig ist.
- Ruhepausenregel: Hiermit wird dargestellt, nach welcher Nutzung die Ressource welche Ruhepausen begünstigt.

Bezüglich ihrer Einplanung können Einzelkapazitäts-Objekte einfach verplant werden, da ihre Kapazitätssituation überblickbar ist.

Eine weitere Art von Kapazitäten, die dasselbe Verhalten wie eine Einzelkapazität haben, sind aus mehreren Ressourcen starr zusammengesetzte Kapazitäten wie z.B.:

- Maschine mit fest montierter Aufspannvorrichtung.
- Linien: Dies sind Maschinen, die in eine serielle Reihenfolge gebracht werden. Die Kapazität einer solchen Linie ist durch die Ka-

pazität des schwächsten Gliedes festgelegt. Das Verhalten der Linie gleicht dem einer einzelnen Ressource (Einzelkapazität).

2.6.2 Kapazitätsgruppen

Aufgrund der angestrebten Allgemeinheit der OPIA muß diese auch in der Lage sein, größere Kapazitätseinheiten zu betrachten, die aus mehreren kleineren zusammengesetzt sind. Solche Einheiten sind z.B.:

- homogene Maschinengruppe,
- inhomogene Maschinengruppe,
- Flexible Fertigungssysteme (FFS),
- Fertigungsinseln oder
- ganze Fabriken.

Diese Gruppen sind aus Einzelkapazitäten zusammengesetzt, welche ein ähnliches Planungsverhalten aufweisen. Dabei kann eine Einzelkapazität durchaus mehreren Kapazitätsgruppen zugeordnet sein (z.B. einer homogenen und einer inhomogenen Maschinengruppe).

2.6.3 Material

Material wird in der OPIA durch die Klasse „Material“ repräsentiert. Material und damit alle Ausgangs-, Zwischen- und Endprodukte haben ein Verbrauchsverhalten: Durch eine Operation wird Material verbraucht oder, besser formuliert, in ein oder mehrere andere Materialien umgeformt.

Die Schwierigkeit bei der Repräsentation von Material besteht darin, daß für einzelne Materialstücke nicht immer eine eindeutige Identität vergeben werden kann, da die einzelnen Stücke nicht erfaßbar sind. Dies liegt auf der einen Seite an der mangelnden Rentabilität einer solchen Erfassung (z.B. lohnt es zumeist nicht, M5-Schrauben einzeln zu erfassen), andererseits aber auch an der mangelnden Diskretisierbarkeit des betreffenden Materials: Bei kontinuierlichen Materialien (z.B. Flüssigkeiten) ist eine Identität nicht realisierbar.

Hier kann eine Identitätsvergabe jedoch künstlich durch Zuordnung zu bestimmten Behältern (Chargen) o.ä. erfolgen. Solches Material ist dann durch den Materialtyp und die Menge, die eine Charge beinhaltet, gekennzeichnet.

Umgekehrt gibt es eine Reihe von festen Materialien, die durchaus einzeln mit einem bestimmten ID erfaßt und beschrieben werden kann.

Dadurch ergeben sich zwei unterschiedliche Typen von Material, die durch zwei unterschiedliche Klassen abgebildet werden, beide sind von der Klasse Material abgeleitet: Einzelmaterial und Chargenmaterial.

2.6.4 Programm

Durch die Klasse „Programm“ werden alle Arten von Ressourcen dargestellt, die eine Information und damit immaterieller Natur sind. Eine typische Ressource dieser Kategorie sind NC-Programme. Sie unterscheiden sich von den bisher vorgestellten Ressourcentypen durch ihr Einplanungsverhalten: Entweder sind sie nicht oder aber mit unbegrenzter Kapazität verfügbar. Dies liegt an ihrer immateriellen Natur: Sie sind ohne nennenswerten Aufwand (abgesehen von vernachlässigbarer Rechenzeit) reproduzierbar.

3. Aggregation der Objekte aus der Produktion

3.1 Einplaner

3.1.1 Funktionalität der Einplanung

Ein Einplanungsvorgang wird mit der Auswahl der zu verplanenden Ressourcen, Aufträge und Bedarfe begonnen. Auf diesen wird sodann der spezifische Algorithmus ablaufen und ein Planungsergebnis in Form von geänderten und neuen Bedarfen, neuen Aufträgen und temporären neuen Ressourcen liefern. Dieses Ergebnis kann dann mit den Ergebnissen anderer Einplanungsvorgänge verglichen werden, bevor es als der zu verfolgende Plan übernommen oder verworfen wird.

3.1.2 Attribute und Funktionen eines Einplaners

Jeder Einplaner hat eine eigene Menge von Bedarfen, Aufträgen und Ressourcen, auf denen er einplanen soll. Diese sind jeweils eine Teilmenge der Aufträge, Bedarfe und Ressourcen des Planungs- und Informationssystems, innerhalb dessen der Einplaner eine Einplanung vornehmen soll. Die zur Einplanung benötigten Arbeitspläne können je nach Bedarf direkt diesem Planungs- und Informationssystem entnommen werden.

Auch das Ergebnis der Einplanung ist in diesen Attributen enthalten: Es sind neue oder geänderte Aufträge, neue oder geänderte und temporäre Ressourcen. Insbesondere die in den Bedarfen festgehaltenen Zeitpunkte sind nach der Einplanung verändert.

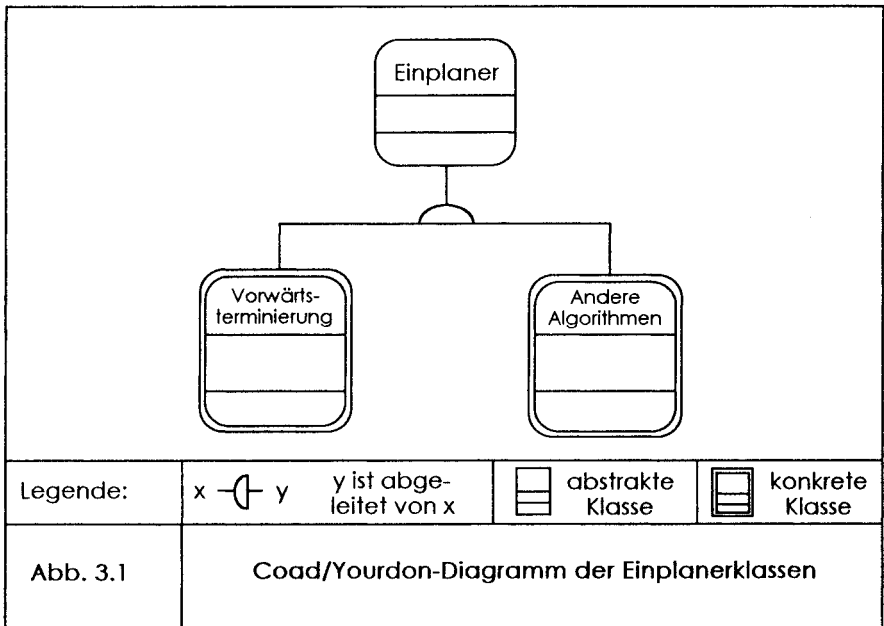
Ein Einplaner hat Funktionen zur Festlegung seiner Aufträge, Bedarfe und Ressourcen, Funktionen zur Durchführung des Planungsalgorithmus und Funktionen zur Übernahme des Planungsergebnisses in das Planungs- und Informationssystem. Zusätzlich sind Operationen vorhanden, um die Ergebnisse verschiedener Planungsverfahren miteinander vergleichen zu können.

3.1.3 Klassen zur Einplanung

Ein Überblick über die Grundstruktur der Klasse Einplaner ist in Abbildung 3.1 gegeben.

Für jeden speziellen Einplanungsalgorithmus ist ein eigener Einplaner vorzusehen. Beispiele hierfür sind Standardeinplaner wie z.B. die Vorwärts- oder Rückwärtsterminierung. Auch automatische Split- und Join-Entscheidungen werden durch vom Einplaner abgeleitete Klassen durchgeführt.

Die Erstellung eines Planes durch den Benutzer erfolgt in einer vom Einplaner abgeleiteten Klasse.



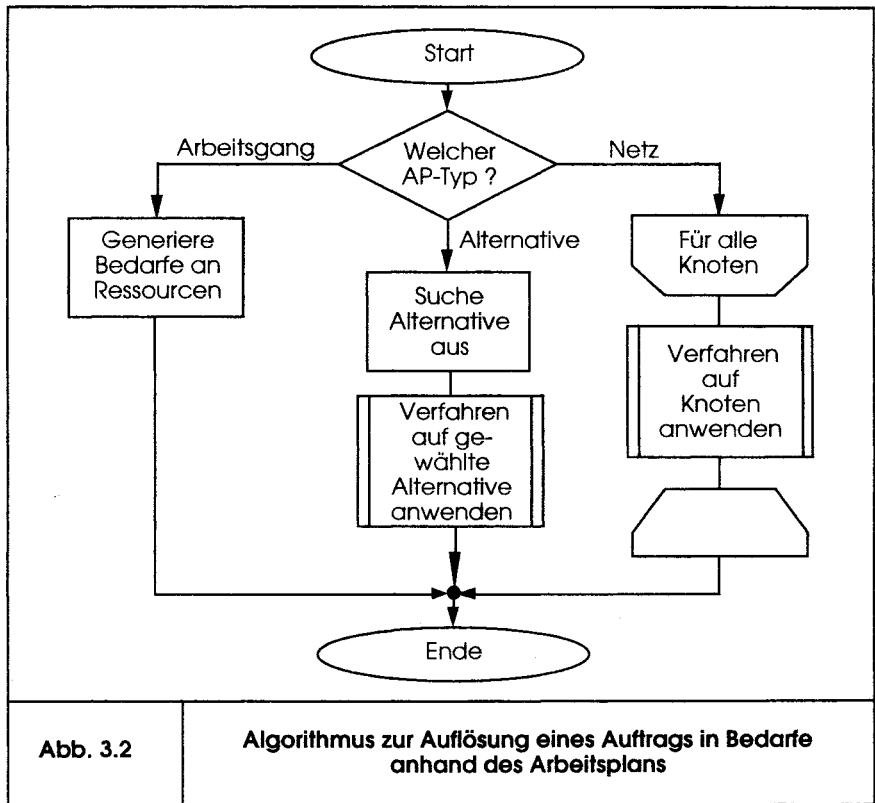
3.2 Informationseinheit

Die Informationseinheit ist diejenige Einheit, welche einen Bereich von Ressourcen, Aufträgen und Arbeitsplänen sowie die existierenden Bedarfe verwaltet. Sie ist mit einem dezentral eingesetzten Planungs- und Informationssystem zu vergleichen. Innerhalb der Informationseinheit müssen alle Funktionen vorhanden sein, die durch ein Planungs- und Informationssystem durchzuführen sind. Die Mehrzahl dieser Funktionen kann unmittelbar durch einen der Bestandteile der Informationseinheit übernommen werden.

Eine Informationseinheit besteht aus einer Menge von Aufträgen, einer Menge von Ressourcen, den Arbeitsplänen und den Bedarfen. Zusätzlich enthält sie eine beliebige Zahl von Einplanern. Hierbei können von demselben Einplaner auch mehrere Exemplare enthalten sein, die dann mit unterschiedlichen zu verplanenden Objekten versehen sind, d.h., dieselbe Einplanungsstrategie kann mehrfach auf eine unterschiedliche Menge von Objekten angewandt werden.

3.3 Funktionalität der Informationseinheit

Die verschiedenen von einem Planungs- und Informationssystem auszuführenden Funktionen werden auf die Elemente der Informationseinheit verteilt. Die Einplanung und Umplanung wird durch von der Klasse Einplaner abgeleitete spezifische Planungsalgorithmen durchgeführt.



Als Beispiel für eine über die verschiedenen Teile übergreifende Funktion ist der Algorithmus zur Auflösung eines Produktionsauftrages in Bedarfe in Abbildung 3.2 dargestellt.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das hier beschriebene objektorientierte Modell setzt die Objekte der Produktionslogistik in allgemeingültige Klassen um, mit welchen man in der Lage ist, ein Planungs- und Informationssystem branchenneutral zu implementieren. Die dabei verwendeten Datenstrukturen bieten dem Anwender die notwendige Flexibilität, um mit frei definierbaren Algorithmen sein Planungsproblem zu bewältigen.

In Zusammenarbeit mit der Druckindustrie hat sich gezeigt, daß (basierend auf dem aus dem Modell entstandenen Klassensystem) mit wenigen spezifischen Ergänzungen ein auf die Planung einer Druckerei maßgeschneidertes Informationssystem erstellt werden konnte (vgl. Bassler 1996).

Eine Erweiterung des beschriebenen Modells wird in zwei Richtungen angestrebt. Zum einen ist sie die Beschreibung von überbetrieblichen Abläufen, zum anderen die Integration umweltrelevanter Fragestellungen in die Planung. Für beide Richtungen sind Ansätze vorhanden (vgl. Laubscher, Rey 1995).

Literatur

- Bassler, T.: Termintreue und Optimierung der Kosten durch einen druckspezifischen Leitstand. In: Deutscher Drucker, Nr. 3, 18.1.1996.
- Bullinger, H.J.; Erzberger, H.; Fähnrich, K.-P.: Werkstattorientierte Produktionsunterstützung. In: IPA u.a. (Hrsg.): Werkstattorientierte Produktionsunterstützung. Berichte aus dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart; Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart; Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart, Band T17, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1990.
- Bullinger, H.J.; Otterbein, T.: Software-Architekturen im Unternehmen. In: H.J. Bullinger (Hrsg.): Software-Architekturen im Unternehmen, IAO-Forum 1991, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1992.
- Coad, P.; Yourdon, E.: Object-Oriented Analysis, Englewood Cliffs 1990.
- Kernler, H.: PPS-Ziele mit dem elektronischen Leitstand erreichen. In: ZWF 86 (Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung), Heft 2, 1991.

- Laubscher, H.-P.: Ein objektorientiertes Modell zur Abbildung von Produktionsverbänden in Planungssystemen, eingereichte Diss., Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement, Universität Stuttgart, Stuttgart 1996.
- Laubscher, H.-P.; Rey, U.: Modell zur Planung von Stoffströmen in überbetrieblichen Logistik-Netzwerken - Ein objektorientierter Ansatz. In: H.-D. Haasis u.a. (Hrsg.): Umweltinformationssysteme in der Produktion, Marburg 1995.
- Lippold, J.; Schulz, K.: Steuern der Fertigung mit wissensbasierten Beratungssystemen. In: ZWF 86, Heft 2, 1991.
- Nicolai, U.: Leitstände im Echtzeit-System zwischen PPS, Lager- und Materialwirtschaft zur Werkstattsteuerung. In: Leitstandsorganisation für die Fertigungssteuerung, Tagungsband, V. Fachtagung 12.-13.6.91, München 1991.
- Otterbein, Th.: Objektorientiertes Datenmodell als Basis für den Fertigungsleitstand der nächsten Generation. In: Congressband VIII zur Online 91 in Hamburg, Velbert 1991.
- Reisch, S.; Lutze, F.W.; Mertins, K.; Albrecht, R.: Industrielle Softwareproduktion für die Fertigungsleittechnik. In: ZWF 86, Heft 2, 1991.
- Strack, M.: Optimale Produktionssteuerung, Köln 1986.

Nutzergerechte Repräsentations- und Interaktionsformen für objektorientierte Informationsmodelle

1. Gegenwärtig umgesetzte und diskutierte Gestaltungsperspektiven für Benutzeroberflächen
2. Neuere Forschungsergebnisse und empirische Befunde als Bezugsrahmen für die Bildung von Gestaltungskriterien
3. Prinzipien zur Gestaltung von Repräsentations- und Interaktionsformen
4. Förderliche Bedingungen für die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Gestaltung von Benutzeroberflächen für die CNC-Steuerungen von Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren und deren Integration in Verfahrensketten.

1. Gegenwärtig umgesetzte und diskutierte Gestaltungsperspektiven für Benutzeroberflächen

Nach wie vor wird die Gestaltung von Benutzeroberflächen von Maschinen und Anlagen lediglich als eine ergänzende Fragestellung bei technischen Entwicklungen angesehen. Auch eine bewußte Betonung (vieler Hersteller) von Aspekten der Benutzerfreundlichkeit sollte nicht dazu verführen, sich über diesen Sachverhalt täuschen zu lassen. Solange die bisher üblichen Abläufe bei der Vergabe von Aufträgen an Maschinenhersteller erhalten bleiben, wird sich auch nichts Wesentliches daran ändern. Es empfiehlt sich deshalb, die charakteristische Situation der Auftragsvergabe zu betrachten, um das Problem wenigstens zu erhellen.

1.1 Innovationshemmnisse für die Gestaltung

Für die Entwicklung und Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen gelten gegenwärtig auf Hersteller- wie auf Anwenderseite allgemein Leistungsumfang, Prozeßsicherheit und Bedienerfreundlichkeit als maßgebende Beurteilungskriterien für die Auftragserteilung. Sie werden damit auch zu Maßstäben für die Bildung von Konzepten, das Testen von Prototypen und die Anpassung in Produktionsstrukturen.

Der Hersteller verkauft eine Anlage oder Maschine, die zum Zeitpunkt der Übergabe unter den vereinbarten Rahmenbedingungen geforderte Funktionen sicher ausführen kann. Er möchte vor allem seine Maschinen verkaufen und den Aufwand für Kundenwünsche geringhalten. Der Anwender kauft eine Anlage oder Maschine, von der er annimmt, daß sie aufgrund der sicher ausgeführten Funktionen eine von ihm geforderte Leistung möglichst lange erbringen wird. Er versucht vor allem, wenig für den Kauf von Maschinen und Anlagen auszugeben und für Anpassungsleistungen möglichst wenig eigene Aufwendungen zusätzlich zu erbringen. Beide Seiten werden in ihrem Denken eher von einseitigen Geschäftsinteressen als von gemeinsamen Innovationsmöglichkeiten (mit beiderseitigen Vorteilen) geleitet.

Bei den Auftrags- bzw. Lieferverhandlungen sind deshalb bisher auf seiten der Anlagen- und Maschinenhersteller vor allem Fachkräfte aus dem Vertrieb und auf Anwenderseite Fachkräfte aus dem Einkauf zusammengekommen. Zunehmend werden hierbei auch weitere Fachkräfte zur Beratung hinzugezogen: auf Herstellerseite jene für die Entwicklung, auf Anwenderseite jene für die Planung der Fertigungstechnik. Nicht direkt einbezogen sind in der Regel jene Fachkräfte, die sich auf der Herstellerseite mit der Inbetriebnahme und auf der Anwenderseite mit dem Einsatz der Technik in der laufenden Produktion befassen.

Geprägt sind die Verhandlungen deshalb durch Fragen nach Standard- und Zusatzleistungen sowie nach deren entsprechenden Kosten. Dabei bilden weitere, häufig auch nicht direkt angesprochene Vorstellungen der beteiligten kaufmännischen und technischen Fachkräfte einen gemeinsamen Hintergrund der Kommunikation, z.B. über technische Trends oder allgemeine Standards (Rose 1995). Dazu gehört auch ein meist unausgesprochenes Vorverständnis, daß eine leistungsstarke Maschine oder Anlage lediglich wie in einem „one-best-way“ vorgesehen zu

bedienen sei, um ihr Potential auszuschöpfen. Die Entwickler auf Herstellerseite orientieren sich dabei an ihren eigenen Vorstellungen oder an gängigem Nutzerverständnis. Direkte Kontaktaufnahme mit Arbeitskräften der Fertigung, um sich authentische Bilder zu machen oder Lösungen zu besprechen, bildet noch immer die Ausnahme. Für den Entwickler besteht die vorrangige Aufgabe darin, eine Anlage oder Maschine mit Funktionen für die Erbringung eines bestimmten Leistungsumfangs zu erstellen. Bezugspunkt ist das Anlagen- und Maschinenkonzept. Das Benutzerkonzept wird erst am Ende der Entwicklung hinzugefügt (wenn die Hardware- und Software-Komponenten schon festliegen und deshalb einen Rahmen für die Benutzung vorgeben). Es wird nicht von der Benutzung von Maschinen und Anlagen als Ausgangspunkt her gedacht, d.h. dem notwendigen Informationsangebot und den geeigneten Interaktionsmöglichkeiten; der Bedarf der Endnutzer (wie Systemführer, Einrichter, Maschinen- und Anlagenführer, Instandhalter) nach einer adäquaten Benutzeroberfläche für die tägliche Aufgabenbewältigung bleibt auf diese Weise eher unberücksichtigt.

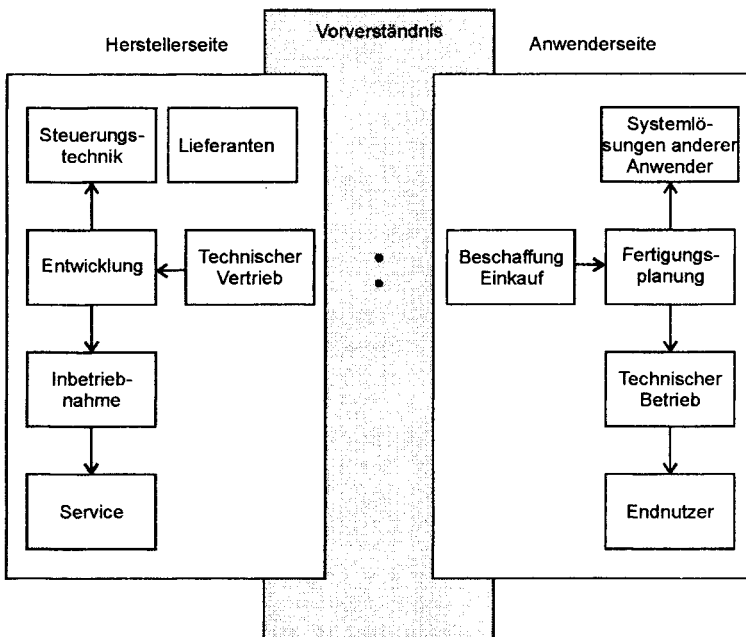


Abb. 1: Situation bei Auftragsverhandlungen

1.2 Stand der Diskussion über Gestaltungsperspektiven

Dieser Kontext von Auftrags- und Lieferverhandlungen (sowie damit verbundenen technischen Entwicklungen) führt dazu, daß hinsichtlich der Anforderungen an die Gestaltung von Benutzeroberflächen bestimmte Themen bevorzugt, andere dagegen vernachlässigt bzw. überhaupt nicht behandelt werden.

Zu den bevorzugten Themen gehören vor allem Anforderungen an die sichere Bedienerführung zur Bewältigung von Routinen bei Standardaufgaben, z.B.

- die sichere Informationsaufnahme und -verarbeitung beim Lesen von Masken, Anzeigen und Meldungen sowie die sichere Handhabung von Stell- und Bedienelementen und
- die Interaktion im Sinne einer aufgabenangemessenen Dialogführung zum Aufruf und zum Manipulieren von Funktionen und Daten.

Im Sprachgebrauch der Diskussion über Software-Gestaltung handelt es sich bei diesen Themenfeldern um die Gestaltungsebenen der Interaktions- und Dialogschnittstelle.

Zu den unzureichend behandelten Themen gehören vor allem Anforderungen zur Bewältigung von neuartigen oder als Folge von Kontexteinflüssen variablen Aufgaben zur Prozeßsicherung im betrieblichen Alltag sowie Anforderungen zur Arbeitskoordination, die nicht modelliert bzw. modellierbar sind und deshalb nur durch komplizierte Nutzung der eingesetzten Technik mit erhöhtem Aufwand bewältigt werden können. Dazu gehören

- die Zugriffsmöglichkeiten auf Bearbeitungsprozesse und deren Änderungsmöglichkeiten sowie die Handhabung von Informationen bei Veränderungen in der Produktion (z.B. durch andere Teilespektren, andere Materialien, andere Werkzeuge), bei unvorhersehbaren Ereignissen (z.B. notwendigen Umplanungen, fehlenden Werkzeugen, Verschleiß von Komponenten sowie damit verbundenen Planungsabweichungen und Störungen) und die sichere und einfache Handhabung bei verschiedenen Steuerungstypen und Informationssystemen sowie

- der abteilungs- und arbeitsplatzübergreifende Informationsfluß und -austausch entlang Prozeßketten, z.B. zur Übernahme von Geometriedaten in Programmiersysteme, zur Optimierung von Arbeitsplänen und Programmen und zur Sicherung des Materialflusses wie auch zur Gewährleistung von Qualität.

Im Sprachgebrauch der Diskussion um Software-Gestaltung handelt es sich bei diesen Themenfeldern um die Gestaltungsebenen der Werkzeug- und Organisationsschnittstelle.

Da die Themenfelder der sicheren Bedienerführung die technischen Entwicklungen auf Herstellerseite und das Investitionsverhalten auf Anwenderseite beherrscht haben, liegen hierzu auch umfassende Forschungsergebnisse, dokumentierte Anwendererfahrungen und allgemein anerkannte Übereinkünfte im Sinne von Standards vor.

Forschung und Entwicklung zur Gestaltung der Werkzeug- und Organisationsschnittstellen von Anlagen und Maschinen sowie entsprechende Anwendungen sind dagegen erst Ende der 80er Jahre in Gang gekommen, als sich die praktische Umsetzung von CIM-Konzepten als zu aufwendig und zu wenig effektiv erwies und sich demgegenüber im Rahmen der Diskussion und Erprobung „schlanker Produktion“ hierarchieärmere und dezentralisierte Organisationsarchitekturen als effektiv und wirtschaftlich zeigten. Hier besteht noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Erste Perspektiven für eine mehr nutzerorientierte Gestaltung von Anlagen und Maschinen (wie es u.a. die Tagung „Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor“ dargelegt hat; vgl. Skarpelis 1993) sind noch stark an Untersuchungsergebnissen und Konzepten der Bürokommunikation ausgerichtet, die Handlungsorientierung und Gruppenfähigkeit als wichtige Fragestellungen schon früher aufgegriffen haben. Für spezifische Probleme der Fertigung erweisen sie sich jedoch als zu grob oder zu unangemessen.

1.3 Rahmenbedingungen für Umsetzungsstrategien

Über das Verständnis von Handlungsorientierung und Gruppenfähigkeit in der Produktion gibt es auch noch keine weitreichenden Übereinkünfte. Je nach der Definition von Handlung und Gruppe ergeben sich unterschiedliche Ansatzpunkte (Rose 1995a; Spur u.a. 1994; Kleinschmidt, Peckruhl 1994; Seitz 1993). In der gegenwärtigen Diskussion werden vor al-

lem zwei Positionen vertreten, die hier nur verkürzt skizziert werden sollen.

Ausgangspunkt bei beiden Positionen sind die neuen Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnik: z.B. modularartig aufgebaute Systeme, Objektorientierung und Prozeßkettenperspektive (u.a. Pritschow 1994; Weck u.a. 1993; Eversheim u.a. 1994). Die Positionen unterscheiden sich dagegen vor allem im Kontextbezug ihrer Anwendung, d.h. in bezug auf die Strategie der Gestaltung von Prozeßverläufen und in ihrem Personenbezug, also in der Möglichkeit für Arbeitskräfte, durch breitere Aufgabenspektren und selbstorganisierte Kooperationsformen vielseitigere Kompetenzen zu entwickeln und für den Betrieb nutzbringend einzusetzen.

Bei der ersten Position wird die Strategie weitestgehend von hierarchisch-sequentiellen Organisationsmodellen her bestimmt. Dabei gibt es zwei Varianten: Entweder können oder sollen die überkommenen Strukturen (Prozeßverläufe, Aufgabenspektren, Kooperationsformen) im Prinzip erhalten bleiben oder es bedarf (in Neuausrichtung an den Informationsflüssen von Prozeßketten) nur geringfügiger Anpassungen. In beiden Fällen werden die Mitarbeiter erst nach weitestgehender Festlegung der Abläufe und Technik im Sinne von „Akzeptanz-Sicherung“ einbezogen.

Bei der zweiten Position werden mögliche technische Systemmodelle mit neuen Konzepten verteilter Aufgabenerfüllung in Netzen und mit dem Bedarf von Nutzern nach technischer Unterstützung bei der Arbeit mit Maschinen und für arbeitsplatzübergreifende Zusammenarbeit abgeglichen (Mambrey u.a. 1995). Auch hier gibt es zwei Varianten. In der einen Variante wird davon ausgegangen, daß sich die bestimmenden Einflußfaktoren für eine neue Aufgabenverteilung und das Wissen der Nutzer über die Bewältigung „kritischer“ Situationen weitgehend ermitteln und im Systemkonzept berücksichtigen lassen. Das Systemkonzept und seine Optimierung werden von spezialisierten Fachkräften vorgenommen, die Restarbeiten werden externalisiert oder durch einfache Arbeitskräfte erledigt. In der anderen Variante wird davon ausgegangen, daß das Erfahrungswissen der Nutzer nicht im System abgebildet werden kann, da es auch beim Einsatz neuer Techniken und anderen Aufgabenzuschnitten bei 10 bis 15 % unvorhersehbaren Ereignissen und „kritischen“ Arbeitssituationen im Betriebsalltag bleibt. Deshalb geht es viel-

mehr darum, daß die neuen Werkzeuge und technischen Kommunikationsmöglichkeiten die Nutzer dabei unterstützen, aktiv Erfahrungen zu machen, einzusetzen und auszutauschen. Auf diese Weise können sie sich an der Systemoptimierung und -erweiterung direkt beteiligen.

Beide Positionen haben weitgehende Konsequenzen bezüglich der implementierten Systemarchitekturen und Dialogstrukturen und bilden den Hintergrund für die Gestaltung der Benutzeroberfläche.

2. Neuere Forschungsergebnisse und empirische Befunde als Bezugsrahmen für die Bildung von Gestaltungskriterien

Für die Bildung von Gestaltungskriterien werden im folgenden einige arbeits- und organisationspsychologische sowie industriesoziologische Erkenntnisschwerpunkte dargestellt und mit Befunden empirischer Untersuchungen über das Arbeitshandeln in der Fertigung in Bezug gesetzt.

Fachgebiet	Konzepte
Wissenspsychologie	Schemata Mentale Modelle
Gedächtnispsychologie	Multimodales Gedächtnis Neurales Selbst
Wahrnehmungspsychologie	Tendenz zur Figuration Musterbildung
Lernpsychologie	Flexible Handlungs- gestalten Expertenkönnen
Organisationspsychologie	Dezentralisierung Kooperation

Abb. 2: Wissenschaftliche Erkenntnisse

Die Auswahl der psychologischen Fachgebiete wie auch einiger Erkenntnisschwerpunkte dieser Gebiete folgt dabei der Absicht, empirisch auffällige Phänomene industrieller Arbeit und Kooperation aus Untersuchungen zum Stellenwert von Erfahrung zu beleuchten. Wie die Ausführungen zeigen, können diese Erkenntnisse die Phänomene allein nicht erklären. Es bedarf zumindest zusätzlicher Erklärungsaspekte. Diese zusätzlichen Aspekte lassen sich als Konzept erfahrungsgeleiteter Arbeit und Kooperation zusammenfassen (Martin 1995; Rose 1995a).

Dieses Konzept geht davon aus, daß bei der Bewältigung von Arbeitsaufgaben mit Maschinen oder zur Koordination verteilter Aufgaben nicht nur theoretisch fundiertes Wissen und fachliche Kenntnisse genutzt werden, sondern auch Erfahrungswissen. Neben reflektiertem Erfahrungswissen ist dabei insbesondere das implizite Erfahrungswissen von Bedeutung. Es entsteht im Vollzug von Handlungen und stellt einen eigenen Wissensmodus dar, der vor allem in „kritischen“ Arbeitssituationen zum Tragen kommt, d.h. in Situationen, bei denen z.B. Prozesse optimiert werden müssen oder Störungen auftreten, auf die schnell reagiert werden muß, und benötigte Informationen hierfür fehlen bzw. nur umständlich mit der verfügbaren Technik gewonnen werden können (Schulze, Carus 1995). Im Modus implizierten Erfahrungswissens und seiner Anwendung sind komplexe sinnliche Wahrnehmung, assoziatives Denken, dialogisch-exploratives Vorgehen und subjektiv empfundene Prozeßnähe ganzheitlich verbunden und erlauben es Arbeitskräften, entsprechend einem Arbeitskontext unmittelbar zu handeln.

Der in Fachgebiete zersprengten Psychologie fällt es schwer, diesen Wissensmodus zu erfassen und zu erklären. Andererseits treten die Konturen der Phänomene klarer zu Tage, wenn ihnen Erkenntnisschwerpunkte der Fachgebiete gegenübergestellt werden.

Das Anfang der 90er Jahre grob umrissene Konzept erfahrungsgeleiteter Arbeit und Kooperation wurde seitdem neben weiterführenden praxisnahen Untersuchungen eben auch durch diese Spiegelung weiterentwickelt.

Der besondere Reiz der Spiegelung liegt darin, daß die empirischen Befunde einige Ergebnisse aus an anderem Ort mit anderen Fragestellungen durchgeführten Versuchen und Untersuchungen bestätigen, gleichwohl aber auch auf die Notwendigkeit eines weiteren Erklärungsfaktors hinweisen.

2.1 Erkenntnisse der Wissenspsychologie

In der Wissenspsychologie haben vor allem die Konzepte „Schema“ und „Mentale Modelle“ als Erklärungsansatz für Prozesse menschlicher Informationsverarbeitung an Bedeutung gewonnen.

Unter „Schemata“ werden Strukturen allgemeinen Wissens verstanden, mit denen typische Zusammenhänge eines Realitätsbereichs wahrgenommen und erinnert werden können. Sie können sich auf Gegenstände beziehen, ebenso aber auch auf Personen, Situationen und Handlungsabläufe. Gegenüber direkten Erinnerungen an konkrete Objekte oder Ereignisse handelt es sich dabei jedoch um Abstraktionen (Waldmann 1990).

„Mentale Modelle“ bilden Gegebenheiten der Umwelt ab, dabei werden aber nicht alle Merkmale eines Originals berücksichtigt. Die Menge der Merkmale und Relationen ist verkürzt, je nach dem Vorwissen der Person oder den Funktionen der Anwendung, oder ob es um Verstehen oder Vorwegdenken von Handlungen geht. Gegenüber dem Original können mentale Modelle aber auch zusätzliche Merkmale enthalten, die aus bereits gespeichertem Wissen stammen. Mentale Modelle zum Verstehen neuer Sachverhalte basieren häufig auf Analogien und greifen dabei auf Gedächtnisschemata zurück. Gedankliches Probehandeln und Durchspielen von Ereignisfolgen kann das mentale Modell so verändern, daß neue Modellzustände vorher nichtbekannte Zusammenhänge und Folgerungen repräsentieren (Neumann 1993). Die Vorstellungsbilder lassen sich dann in diesem Sinne als Sichtweisen auf ein Modell in einem bestimmten Zustand verstehen (Seel 1991), d.h., die internen Abbildungen können flexibel gehandhabt werden (Kluwe, Haider 1993).

Empirische Befunde aus arbeitspsychologischen und industriesoziologischen Untersuchungen zur Arbeit mit Werkzeugmaschinen bestätigen diese Erkenntnisse. Fachkräfte können sich Handlungsfolgen bei der Bearbeitung „wie im Film“ vorstellen, als würden sie sich dabei selbst über die Schulter sehen. Die Fachkräfte wissen aus früheren Bearbeitungsabfolgen, was als erstes, als zweites usw. zu tun ist. Grundlegend sind dabei Vorstellungen über herzustellende Werkstücke und den Gebrauch von Werkzeugen bei der Bearbeitung von Rohteilen und der schrittweisen Formung von Werkstücken (Böhle, Rose 1990).

Schemata und mentale Modelle machen dabei nur einen Teil des Vorstellungsrepertoires aus, vor allem bei häufig wiederkehrenden Bearbeitungsabfolgen. Besonders in neuen oder kritischen Arbeitssituationen werden an Werkzeugmaschinen erst „grob“strukturierte Vorstellungen über Aufspannungen von Werkstücken und Einsatzfolgen von Werkzeugen und über die ersten Schritte assoziiert. Erst nach Ausführung dieser ersten Schritte werden dann die weiteren Bearbeitungsfolgen im Detail vervollständigt. Die gedankliche Handlung baut sich wie die konkrete Handlung allmählich auf (Zimmer 1993).

2.2 Erkenntnisse der Gedächtnispsychologie

In der Gedächtnispsychologie und Neurobiologie wird vor allem den Konzepten des „multimodalen Gedächtnisses“ und des „neuronalen Selbst“ hoher heuristischer Erklärungswert zugemessen.

Beim Konzept des „multimodalen Gedächtnisses“ wird davon ausgegangen, daß in der Architektur des Gedächtnisses verschiedene Subsysteme zu unterscheiden sind, mit denen Ereignisse der Umwelt einer Person erfaßt und erinnert werden können. Auf diese Weise kann ein Ereignis mehrfach repräsentiert sein, sensomotorisch, visuell und kategorial. Die Repräsentation erfolgt dabei über Marken: Raummarken, Bildmarken, Wortmarken. Die bessere Erinnerung direkt wahrgenommener Handlungen (gegenüber nur begrifflich erläuterten) wird vor allem auf die Nutzung von Raum- und Bildmarken zurückgeführt (Engelkamp 1991). Derartige Marken können bewußt wie unbewußt sein. Die Herausbildung solcher Marken beginnt bei einem sensorischen Ereignis, z.B. der Wahrnehmung von Reizen oder einer Bewegung, und bildet sich durch Wiederholung dieses Ereignisses aus, indem Funktionsparameter wie Geschwindigkeit oder Genauigkeit dauernd verbessert werden. Ein Großteil entsteht durch unbewußte Bahnungseffekte und unbewußte Bedeutungsaktivierung (Perrig, Wippich 1993). Auf der Grundlage des multimodalen Gedächtnisses können mehr Unterscheidungen in der Umwelt von Personen wahrgenommen werden, als dies bei nur einem Wahrnehmungskanal oder nur einem Gedächtnisspeicher der Fall ist. Die Wahrnehmung von Unterschieden durch Vergleich bildet jedoch die wesentliche Quelle für die Bildung von Informationen (Bateson 1983).

Das Konzept des „neuronalen Selbst“ geht davon aus, daß die Körperrepräsentation das Gerüst für die Selbstrepräsentation liefert (Churchland

1996). Dabei werden zwei Kategorien von Repräsentationen der Umwelt einer Person unterschieden. Die eine bezieht sich auf die dispositionelle Repräsentation von Schlüsselereignissen einer Person in Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt. Sie umfaßt eine große Anzahl von kategorisierten Fakten, die eine Person definieren: Was sie tut, was sie mag, welche Objekte sie verwendet, an welchen Orten sie sich aufhält, welche Handlungen sie in der Regel ausführt. Die zweite Kategorie bezieht sich auf topographische Repräsentationen gemäß der Anatomie und der Bewegungsmuster des Körpers. Vorstellungsbilder werden nicht als täuschend ähnliche Abbilder von Dingen, Ereignissen, Wörtern oder Sätzen gespeichert. Angesichts der gewaltigen Wissensmenge, die dann im Sinn von „Bibliotheken“ verfügbar gehalten werden müßte, ergeben sich unüberwindliche Probleme der Speicherkapazität. Erinnerung schafft keine exakte Reproduktion von Gegenständen oder Ereignissen. Es geht vielmehr um eine Rekonstruktion der wesentlichen Merkmale eines Originals (Beckermann 1996; Roth 1994). Dispositionelle und topographische Repräsentationen bilden hierbei die Grundlage, weshalb es auch wirksame sog. somatische Marker gibt, die als warnende oder unterstützende Empfindungen erlebt werden. Sie hemmen oder verstärken Handlungstendenzen. Da sie einen Zeitgewinn bei der Wahl von Reaktionsmöglichkeiten darstellen, bilden sie den Ursprung der Intuition (Damasio 1994). Empfindungen stellen somit einen Filter für die Verarbeitung von Außenreizen zu Bildern und Gedanken dar.

Empirische Befunde aus arbeitspsychologischen und industriesoziologischen Untersuchungen über Arbeit in der Fertigung bestätigen diese Erkenntnisse. Facharbeiter bilden aufgrund von Erfahrungen Markierungen aus, an denen sie ihr Handeln und Entscheiden ausrichten. Sie haben z.B. Vorstellungen darüber, zu welchen Zeitpunkten als kritisch angesehene Bearbeitungsabschnitte ablaufen, die besonderer Aufmerksamkeit (Fokussierung) bedürfen und Prüfungen notwendig machen. Ebenso können sie z.B. Wahrnehmungen derart differenzieren, daß sie kleine Unterschiede für Bewertungen über Bearbeitungszustände heranziehen können, wie beispielsweise Geräuschspektren - auch als „Rattermarken“ bezeichnet - beim Einfahren und Überwachen von automatischen Bearbeitungsprogrammen. Insbesondere in „kritischen“ Arbeitssituationen treten Gefühle auf, die von empfundenen Warnungen („Das läuft nicht rund!“) bis zu empfundener Bestätigung („Da bin ich im sicheren Bereich!“) gehen. Auch das Aufkommen plötzlicher Ideen, wie in neuen Situationen zu verfahren ist, wird häufig berichtet (Martin 1995).

2.3 Erkenntnisse der Wahrnehmungspsychologie

In der Wahrnehmungspsychologie sind es vor allem die Konzepte der „Gestaltbildung“ und der „Musterbildung“, auf die hier hingewiesen werden soll.

Das Konzept der „Gestaltbildung in der Wahrnehmung“ sagt aus, daß Wahrnehmungsreize auf einem Hintergrund als zusammengehörig erlebt werden, z.B. in solchen Fällen, in denen sie näher beieinanderliegen, gemeinsam eine Figur bilden oder zusammengefaßt werden können (u.a. Kebeck 1994). Gestalten bilden sich aber auch im Sinne einer vom Beobachter erlebten „phänomenalen Kausalität“ aus, wie eindrucksvolle Laborversuche belegen: Versuchspersonen stellen einen kausalen Zusammenhang zwischen physikalischen Ereignissen her, der sachlogisch nicht gegeben ist. So nehmen sie zwei Linien auf einer rotierenden Scheibe als Quadrate wahr, die sich „berühren“, die voneinander „abstoßen“, „abschieben“ oder „wegziehen“. Dabei wird der Zusammenhang unmittelbar wahrgenommen und nicht etwa kognitiv erschlossen. Die Versuchspersonen können gleichsam die wirkenden Kräfte dynamischer Vorgänge „sehen“. Dieser psychische Mechanismus gestattet ihnen offenbar ein leichteres Verständnis physikalischer Prozesse im Alltag (Michotte 1982).

Das Konzept der „Musterbildung“ beruht auf der Beobachtung, daß Personen Objekte ihrer Umwelt mit Hilfe von zusammengesetzten „inneren“ Projektionen unterscheiden und wiedererkennen können. Auch wenn nur Teile eines Objektes erkenntlich sind, kann aufgrund solcher „inneren“ Projektionen das gesamte Objekt erkannt und mental vervollständigt werden. Dabei handelt es sich nicht um „Schablonen“ oder „fotografische Aufnahmen“, die gedächtnismäßig wie in einer Bibliothek abgelegt sind und je nach Bedarf aufgerufen werden, sondern um neuronal verankerte Prozesse der Bildentstehung (Haken 1992). Reizkonstellationen der Außenwelt und erlebte Bedeutungszusammenhänge der Innenwelt von Personen wirken dabei zusammen. Bei einfach zusammengesetzten Gegenständen sind es vermehrt Außenreize, bei vielfach verschachtelten Gegenständen mit je kontextunterschiedlichen dynamischen Verlaufseigenschaften sind auch die inneren Bedeutungszusammenhänge hoch relevant für die Wahrnehmung (Stadler, Kruse 1991).

In der Produktion lassen sich diese Phänomene der Gestalt- und Musterbildung ebenfalls beobachten. Figurierte Daten erleichtern die Selektion zwischen Informationsblöcken und deren Abgrenzung auf dem Bild-

schirm (Staufer 1987; Lauter 1987). „Gute“ Programme für einen Bearbeitungsvorgang haben eine „bestimmte“ Struktur, die erfahrene Arbeitskräfte auf einen Blick erkennen. Anlagenfahrer können den Prozeßfortschritt dadurch beurteilen, daß sie bestimmte Datenfelder an Leitständen und Bedienpulten gegeneinander abgleichen (wie dies von den Herstellern gar nicht vorgesehen ist). So gewinnen sie Hinweise über Bewegungsgeschwindigkeiten wie -verzögerungen, „erleben“ Störungsbahnungen vor deren Auftreten und können bei angezeigten Werten in einer Situation schließen, daß ein Wert „falsch“ angezeigt wird (da beispielsweise ein Sensor nicht intakt oder ein Meßgerät verschmutzt ist) (Böhle, Rose 1992).

2.4 Erkenntnisse der Lernpsychologie

In der Lernpsychologie sind es vor allem zwei Konzepte, die relevant erscheinen: das Konzept der „Gestaltbildung im Handeln“ und das Konzept des „Expertenkönnens“.

Das Konzept der „Gestaltbildung im Handeln“ geht von drei anthropologischen Grundvoraussetzungen des Menschen aus. Evolution ist eng verbunden mit dem Prinzip der eigenen Entwicklungswege. Damit es wirksam werden kann, bedarf es Handlungsspielräume, Zeitautonomie und Möglichkeiten zu eigener praktischer Erfahrung. Das Prinzip des leiblichen In-der-Welt-Seins betont die körperliche Existenz des Menschen. Reale Bewegungen und eingreifend-veränderndes Handeln sind die Ausgangs- und Zielpunkte der Wahrnehmungs- und Denkprozesse. Die Möglichkeit zu körperlicher Aktivität und zur Nutzung vielfältiger Sinnesqualitäten ist notwendige Bedingung, um Rückwirkungen des Eingreifens erleben zu können und die sinnliche Wahrnehmung zu differenzieren und zu verfeinern. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, daß ganzheitliche Situationswahrnehmungen stattfinden und mit Situationshandlungsverschränkungen gekoppelt werden können. Im Verlauf der Zeit entstehen auf diese Weise flexible Grundmuster des Handelns, die sich als Prototypen verstehen lassen. Das Prinzip der sozialen und gesellschaftlichen Eingebundenheit kommt zur Entfaltung, wenn unmittelbarer zwischenmenschlicher Kontakt gefördert wird (Volpert 1994).

Das Konzept des „Expertenkönnens“ geht davon aus, daß der Erwerb von Fertigkeiten in charakteristischen fünf Stufen erfolgt. In der ersten Phase erlernt ein Neuling durch Instruktion und Vormachen. Aufgrund

der Erfahrungen, wie man mit wirklichen Situationen fertig wird, kann aus dem Neuling ein fortgeschrittener Anfänger werden. Er lernt dadurch Elemente kennen, die weder er noch sein Lehrer in objektiv faßbaren, kontextfreien Begriffen definieren können. Da die Zahl erkannter Elemente nach und nach wächst, kommt es darauf an, daß ein Lernender durch Einnehmen verschiedener Blickwinkel soviel Unterscheidungen vornehmen kann, daß er dadurch Wesentliches von Unwesentlichem zu trennen vermag. Hierdurch gelangt er auf die dritte Stufe der Kompetenz. Auf der vierten Stufe der Gewandtheit verfügt der Lernende über einen Fundus von Fallbeispielen, an die er sich erinnern kann und die er je nach Ähnlichkeit mit einer konkreten Situation vergleicht. Auf der fünften Stufe des Lernens sind den Experten ganzheitliche Muster eigen, die sich aus dem Vergleich von Fallbeispielen ergeben, ebenso wie durch Zusammenfassung bewährter Schrittfolgen, wie Probleme zu lösen sind (Dreyfus, Dreyfus 1988).

Empirische Befunde aus arbeitspsychologischen und industriesoziologischen Untersuchungen über Arbeit in der Fertigung sprechen für die Tragfähigkeit dieser Erkenntnisse.

Arbeitskräfte in der Fertigung unterscheiden sich bei der Aufgabenwahrnehmung in der Herangehensweise je nach dem Stand ihrer Berufserfahrung und der Möglichkeiten für aktives Lernen im Arbeitsprozeß. Experten fassen bei der Erfüllung von Aufgaben Tätigkeitssequenzen zusammen, die operational insgesamt zur Verfügung stehen. Eine oder mehrere Tätigkeitssequenzen können darüber hinaus aufgrund von Erfahrung assoziativ verstärkt gekoppelt sein und bilden erlebte Schwerpunkte (oder Bausteine des Handelns). Insbesondere in sog. „kritischen“ Arbeitssituationen wird auf sie zurückgegriffen, wenn Routinen nicht mehr ausreichen. Die Anwendung dieser Handlungsbausteine wird erleichtert, wenn der Arbeitskraft unterschiedliche Informationsquellen und Informationsdarstellungen zur Verfügung stehen und direkte manuelle Zugriffe auf den Prozeß möglich sind. Die Arbeitskraft kann dann durch Vergleiche den Bearbeitungsfortschritt und Arbeitserfolg genauer einschätzen und unmittelbar reagieren und agieren (Rose u.a. 1995; Martin 1995).

2.5 Erkenntnisse der Organisationspsychologie und Industriesoziologie

Abschließend soll noch kurz auf Ergebnisse der Organisationspsychologie und Industriesoziologie hingewiesen werden. Hier sind insbesondere die Konzeptansätze zu den Forschungsthemen „dezentrale Organisationsarchitekturen“ und „kooperative Arbeitsstrukturen“ zu erwähnen.

Die Konzeptansätze im Hinblick auf „dezentrale Organisationsarchitekturen“ gehen alle davon aus, daß streng hierarchisch-sequentiell strukturierte Organisation spezifische Schwachstellen aufweist. Das gilt insbesondere für den Informationsaustausch intern und extern sowie die Koordination verteilt wahrgenommener Aufgaben. Auf diese Weise entstehen Hemmnisse für Flexibilität und Qualitätssicherung sowie zusätzliche Kosten für erhöhte Zeitaufwände. Sollen diese Schwachstellen abgebaut werden, empfehlen sich Strategien zur organisationalen Restrukturierung der Wertschöpfung entlang von Prozeßketten (Hirsch-Kreinsen 1995; Hirsch-Kreinsen 1996; Nadler u.a. 1994).

Die Konzeptansätze im Hinblick auf „kooperative Arbeitsstrukturen“ gehen davon aus, daß die mehr selbstorganisierte Arbeit in Gruppen und Netzwerken gegenüber agglomerierter oder sequentieller Zusammenarbeit spezifische Vorteile hat, da das verteilte Erfahrungswissen in direkter Kommunikation ausgetauscht werden kann und dies in komplexen, nicht vollständig strukturierbaren Situationen den Zeitaufwand zur Überprüfung von Hypothesen und Zwischenergebnissen für die Entscheidungsfindung erheblich verkürzt sowie dazu führt, daß für alle „sichere“ Erwartungshaltungen entstehen (u.a. Moldaschl 1996; Rose 1995a; Seitz 1993).

Empirische Befunde aus arbeitspsychologischen und industriesoziologischen Untersuchungen über Arbeit in der Fertigung weisen auf die Relevanz dieser Ergebnisse für die industrielle Produktion hin.

In der industriellen Produktion läßt sich mit dem Einsatz komplexer Systeme neben dem Beharren auf weitgehend arbeitsteilige Systeme auch eine Tendenz für die Reintegration bisher zentral wahrgenommener Aufgaben in die Fertigung feststellen. Das Aufgabenspektrum der Arbeitskräfte zur Handhabung von Maschinen und Anlagen wird dann um Teilaufgaben der Auftragsabwicklung, Arbeitsplanung, Produktionslogistik, Qualitätssicherung, Störungsdiagnose und Instandhaltung erweitert.

Bislang zentral zugeordnete Arbeitskräfte (z.B. für Instandhaltung) werden zum Teil wieder in die Fertigung integriert. Auf diese Weise bilden sich neue Qualifikationsprofile in der Fertigung. Neben spezialisierten Fachkräften entsteht ein neuer Typus von Arbeitskräften im Sinne von Systemregulierern (Schumann u.a. 1994; Wittke 1993; Böhle, Rose 1992). Die Reintegration vormals zentraler Aufgaben und zentral angesiedelter Arbeitskräfte in die Fertigung unterstützt bislang praktizierte Formen von Arbeitskooperation innerhalb einer Schicht ebenso, wie sie auch andere Formen arbeitsplatzübergreifender Zusammenarbeit in Richtung Gruppenarbeit oder abteilungsübergreifender Zusammenarbeit entlang von Prozeßketten fördert. Gruppenarbeit findet mit oder nur geringer bzw. auch ohne Reintegration immer größere Verbreitung (Sauerwein 1993). Allerdings bilden Betriebe, die zentrale wie dezentrale Organisationseinheiten in flexiblen Aufgabennetzen ausschließlich teamartig tätig werden lassen, die Ausnahme. Die meisten Unternehmen lassen verschiedene Formen der Kooperation (zwischen Spezialisten, in geführten Gruppen, in selbstorganisierten Gruppen, in Netzwerken entlang Ketten) im Sinne struktureller Heterogenität nebeneinander zu (Sauer 1993). Unmittelbare Zusammenarbeit erweist sich jedoch als betriebswirtschaftlich ausweisbar wirksamer Garant von Prozeßsicherheit, da Anlässe und Bedingungen für einen offenen Erfahrungsaustausch steigen und gegenseitige Erwartungshaltungen besser abgestimmt werden können. Diese Rückbesinnung auf Vorteile der Arbeitskoordination durch Kooperation bei zumeist gleichzeitig zugelassener struktureller Heterogenität erfordert für ihre Umsetzung eine Redefinition von Übergabestellen, Medien und Formaten für den technisch gestützten Informationsaustausch. Für derartige Lösungen auf der Grundlage von Hypertext und Multimedia ist eine sich fortlaufend erweiternde Diskussion über computerunterstützte kooperative Arbeit (CSCW) in Gang gekommen (Klotz, 1994; Elke u.a. 1993; Oberquelle 1991).

2.6 Forderung nach einem integrativen Gestaltungskonzept

Die vorgenannten arbeits- und organisationspsychologischen Konzepte und empirischen Befunde sind bei der Gestaltung von Benutzeroberflächen bisher mehr vereinzelt und rudimentär herangezogen worden. Insbesondere das Konzept der mentalen Modelle wird oft als grundlegende Basis angesehen und mit weiteren Erkenntnissen angereichert. Aus der hier vertretenen ganzheitlichen Sicht sind mit diesem Konzept überall da beachtliche Gestaltungserfolge erzielt worden, wo es sich um weitestge-

hend personenunabhängige, vorweg planbare und aufgrund erfaßter Daten berechenbare Bearbeitungsvorgänge in wenig wechselnden Arbeitskontexten handelt. In Arbeitssituationen, die kontextabhängig und damit häufig verbunden auch personenbezogen gelöst werden müssen, in denen die Zusammenhänge sich wechselseitig beeinflussender Parameter nicht hinreichend bekannt sind oder bei denen infolge nicht datentechnisch erfaßbarer Einflußgrößen Zustandsbewertungen Bedeutung gewinnen, kommt es bei der Bewältigung vermehrt auf ein Zusammenspiel von Kognitionen, Körperbewußtsein und Gefühlen bei der Arbeit mit Maschinen sowie auf direkte Kommunikation bei der Zusammenarbeit an.

Eine durchgängige Gestaltungsperspektive, die in diesem Sinne auf die hier genannten vielseitigen Konzepte und Befunde in gleicher Weise zugreift, liegt bisher nur in Ansätzen vor (u.a. Bolte u.a. 1993; Böhle, Rose 1993; Rose 1992). Theoretischer Ausgangspunkt für die folgende ganzheitliche Betrachtung ist das Konzept der Selbstorganisation in Wechselwirkung miteinander stehender Prozesse aus Wahrnehmung, Denken, Gedächtnis und Handlung (Stadler, Kruse 1994). Es wird hier auf Phänomene der Erfahrungsbildung und Erfahrungsnutzung bezogen. Neben reflektiertem Erfahrungswissen (das eher analytisch-schlußfolgernd und planvoll gewonnen wird) ist es insbesondere auch das implizite (im Rahmen von Handlungen) erworbene Erfahrungswissen, das für die Bewältigung kritischer Arbeitssituationen von großer Bedeutung ist. Unter dem Gesichtspunkt der praktischen Gestaltung von Technik wird darüber hinaus ein weiterer Ansatzpunkt gewählt, der sich an möglichen Umsetzungschancen für ein integratives Konzept ausrichtet: den Gestaltungsperspektiven der Handlungsorientierung und Gruppenfähigkeit. Damit gemeint sind Gestaltungen, die dem Abbau von Handlungsbehinderungen und der Förderung von ganzheitlichen Handlungsvollzügen zur Bewältigung kritischer Situationen bei der Arbeit mit Anlagen und Maschinen dienen (vgl. hierzu für CNC-Maschinen u.a. Weber 1994 und für flexible Fertigungssysteme Schüpbach 1994; Schulze u.a. 1995), ebenso wie Gestaltungen zum Abbau kommunikationshinderlicher Bedingungen und zur Förderung kommunikationssteigernder Faktoren für den Erfahrungsaustausch bei der Arbeitskoordination (Rose 1995a). Viele der bislang in der wissenschaftlichen Diskussion gegeneinander vorgetragenen Mißdeutungen und Widersprüche lassen sich relativieren, wenn die durch die Konzepte erzielten Ergebnisse auf ihren integrativen Beitrag in bezug auf die Theorie der Selbstorganisation und auf die Gestaltung erfahrungsgeleiteter Arbeit mit Maschinen und Anlagen sowie in bezug auf

die Zusammenarbeit entlang Prozeßketten hin geordnet werden (Rose, Martin 1995).

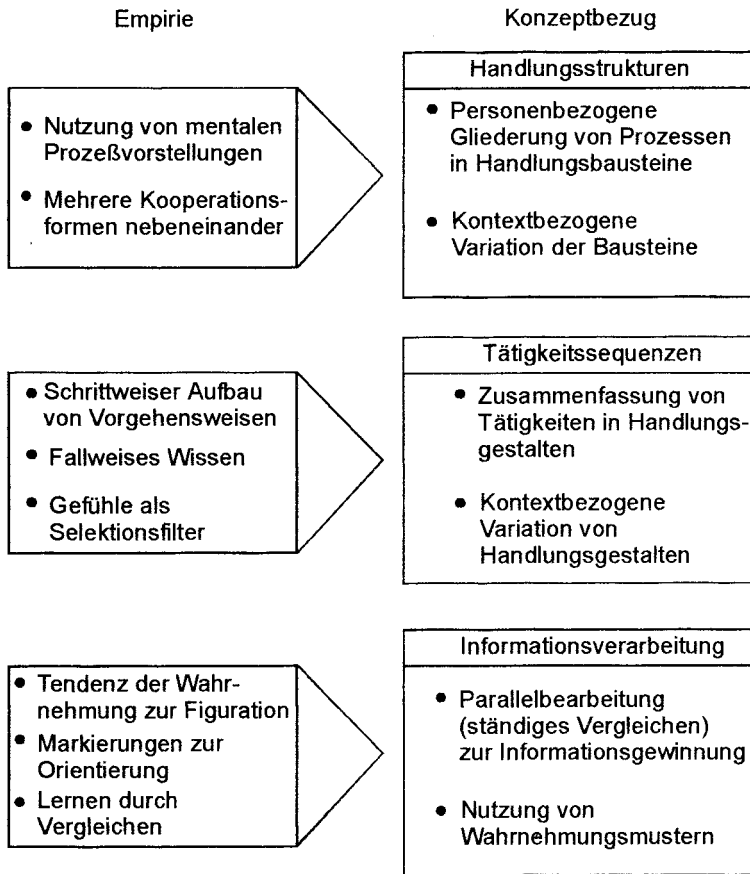


Abb. 3: Ganzheitliches Konzept

2.7 Konturen eines ganzheitlichen Konzepts

Das integrierte Konzept unterscheidet drei Ebenen: die Ebene der Handlungsstrukturen, die Ebene der Tätigkeitssequenzen und die Ebene der Informationsverarbeitung.

a) Ebene der Handlungsstrukturen

Arbeitskräfte sind bestrebt, bei der Bewältigung von Arbeitsaufgaben mit Maschinen oder zur Koordination ihrer Arbeit mit anderen ihr psychoenergetisches Potential ökonomisch zu verwenden. Zum einen geht es darum, daß aus der Fülle der Informationsmöglichkeiten genau die für die Aufgabenbewältigung notwendige Information bewußt wird; zum anderen geht es darum, die Aufmerksamkeit im Tagesverlauf aufrechtzuerhalten. Dies gelingt Arbeitskräften am besten, indem sie den Handlungs- bzw. Koordinationsablauf in als zusammengehörig erlebte Ereignisabschnitte (Handlungsbausteine) gliedern und für diese Abschnitte ein Reservoir an Bewältigungsmöglichkeiten entwickeln und einsetzen. Zu derartigen Handlungsbausteinen mit der Maschine gehören z.B. Arbeitsplanung, Rüsten, Prozeßoptimierung und -überwachung, Störungsbehebung, Messen und Prüfen, Nacharbeit und Prozeßdokumentation. Ausgangspunkt für die Bewältigung von Arbeitsaufgaben mit automatisch verlaufenden Bearbeitungsvorgängen der Maschine sind dabei Vorstellungen über, soweit möglich auch von Beobachtungen sowie Einflußnahmen auf die Bewegung von Werkzeugen und die Form wie Beschaffenheit dadurch erzeugter Oberflächen. Handlungsbausteine bei der Koordination mit anderen sind z.B. die Übernahme von Arbeitsergebnissen, Weiterbearbeitung in Absprache, Klärung (von Details und Abweichungen) sowie Rückspiegelung und Übergabe von Weiterbearbeitungen an andere. Ausgangspunkt für die Bewältigung von Arbeitsaufgaben zur Koordination entlang Prozeßketten sind die Annahme- und Übergabestellen sowie hierauf bezogene Formen und Beschaffenheit von kontexterschließenden Informationen.

b) Ebene der Tätigkeitssequenzen

In diesen als zusammengehörig erlebten Handlungsbausteinen bewältigen Arbeitskräfte ihre Arbeit durch Anwendung von Handlungsgestalten. Handlungsgestalten bestehen aus Abfolgen von Arbeitsschritten, in denen kontext- und körperbezogene Tätigkeiten und Vorstellungen miteinander gekoppelt sind. Bei der Arbeit mit Maschinen sind es Arbeitsschritte der Art, was und in welcher Folge unmittelbar zu tun ist, bei der Arbeitskoordination mit anderen sind es Arbeitsschritte der Art, von wo und wohin unmittelbar kontextbezogene Informationen fließen. In jedem Handlungsbaustein gibt es in der Praxis einen Satz wiederholt eingesetzter Handlungsgestalten aus miteinander kombinierten Vorstellungen

gen und Tätigkeiten, d.h., die mentalen Orientierungen sind mit den Interaktionen für Bearbeitungsprozesse zur Steuerung der Maschine oder zum Umgang mit Informationssystemen zur Unterstützung der Arbeitskoordination gekoppelt. Derartige technikgestützte Interaktionen bilden das Repertoire von routinemäßigen Normalgängen. Auch wenn die Anwendung von Handlungsgestalten häufig ohne längeres Nachdenken und weitgehend unbewußt erfolgt, so können diese jedoch nicht als „mentale Programme“ verstanden werden, die in einer „Gedächtnisbibliothek“ gespeichert sind und in „Standardsituationen“ lediglich abgerufen werden. Es ist die Methode des Entstehens einer Handlungsgestalt, die gespeichert ist, nicht eine Vielzahl von Verläufen. Die Handlungsgestalt wird immer wieder erneut aktiv konstruiert. Dieser Aspekt des Konstruktiven wird aber zumeist erst bei „neuen“ oder „kritischen“ Arbeitssituationen bewußt, wenn Varianten häufig genutzter Handlungsgestalten oder neue Handlungsgestalten erzeugt werden.

c) Ebene der Informationsverarbeitung

Bei der Erzeugung neuer Handlungsgestalten bilden die häufig genutzten Gestalten den Hintergrund, auf dem sich die neue Gestalt herausbildet. Dies gilt sowohl für die Arbeit mit Maschinen als auch für die Zusammenarbeit in Koordinationsprozessen. Bei der Arbeit mit Maschinen und Anlagen werden charakteristische „normale“ Prozeduren oder deren Varianten bei der Interaktion mit Bearbeitungs- und Informationssystemen für die Bewältigung einer Arbeitsaufgabe miteinander verglichen, und zwar im Hinblick auf einen aktuellen Kontext. Bei der Zusammenarbeit zur Koordination sind es gebräuchliche Kommunikationsverläufe in Ad-hoc-Besprechungen, Arbeitsgruppen oder Aufgabennetzen. Das Repertoire der normalen Prozeduren und gebräuchlichen Kommunikationsverläufe bildet dabei den Hintergrund, auf dem sich die für eine gegebene Situation angemessene Gestalt im Sinne einer Orientierung des Handelns entfaltet. Das Prinzip des laufenden Vergleichens kommt aber auch bei der Durchführung von Normalgängen und Kommunikationsverläufen und deren Varianten zur Anwendung. Es dient dann der Erzeugung von Unterscheidungen durch Nutzung verschiedener Informationsquellen und Interaktionsmöglichkeiten. Der Vergleich findet bei der Arbeit mit Maschinen in der Gegenüberstellung verschiedener Einzelanzeigen statt, ebenso aber auch im Vergleich von ausgewählten Einzelanzeigen zusammengesetzter Wahrnehmungsmuster. Neben derartigen inhaltlichen Vergleichsmöglichkeiten spielen aber auch formale Vergleiche eine

nicht zu unterschätzende Rolle. Damit gemeint sind bei der Arbeit mit Maschinen unterschiedliche Visualisierungen von Sachverhalten (z.B. als Text, Liste oder Grafik), die Nutzung von Optionen für Zustandsbeschreibungen (beispielsweise über Anzeigen oder über transformierte Indikatoren durch direkte Sicht usw.) oder unterschiedliche Einflußmöglichkeiten auf Bearbeitungsvorgänge (das Erstellen von Bearbeitungsfolgen, die wenig aufwendige Eingabe von Bearbeitungsänderungen, manuelles Bedienen und Wiederanfahrstrategien nach Unterbrechungen). Bei der Zusammenarbeit zur Koordination geht es um die Nutzung von Listen und maschinellen wie interpersonellen Abfragefolgen, mit der Chance, durch Einreden, Nachfragen, Vorzeigen und Nachmachen die Bedeutung von ausgetauschten Informationen nachzuvollziehen bzw. hervorzuheben. Dieses ständige Vergleichen dient der Ökonomie der menschlichen Informationsverarbeitung durch Selektion und der hierfür notwendigen Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit. Im Schwanken zwischen „gespannter“ Aufmerksamkeit (viele Vergleiche) und „gelassener“ Aufmerksamkeit (wenige Vergleiche) kann dabei auch ein länger verfügbares Potential psychischer Energie aufrechterhalten werden (Schulze, Carus 1995).

Die gegenwärtig eingesetzte Technik unterstützt diese hier vertretene Sichtweise nicht oder nur sehr unzulänglich. Es bedarf deshalb neuer Ansatzpunkte zur Gestaltung von Repräsentations- und Interaktionsformen.

3. Prinzipien zur Gestaltung von Repräsentations- und Interaktionsformen

3.1 Gegenwärtige Übereinkünfte und Normen

Die bislang getroffenen Übereinkünfte und technischen Normen zur Software-Ergonomie hinsichtlich der Dialoggestaltung betreffen vor allem den Bürobereich und damit den Umgang mit PCs. Da der Einsatz von PCs in der industriellen Fertigung aber an Bedeutung gewinnen wird, scheint es angebracht, bewährte Standards der Dialoggestaltung zu übernehmen. Dazu gehören vor allem Normen wie die DIN 66234, Teil 8, mit Empfehlungen zur Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschrei-

bungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität und Fehlerrobustheit, und die DIN 66234, Teil 5, mit Regeln zur Übersichtlichkeit der Bildschirmgestaltung, sowie die ISO 9241, part 10, zur Individualisierbarkeit und Erlernbarkeit (Eichener 1993; Johannsen 1993).

Allerdings gilt es bei der Übernahme bewährter Standards, auch Unterschiede zwischen Anwendungen der Bürokommunikation und der industriellen Produktion zu berücksichtigen. Bei der Fallbehandlung im Büro geht es um informationelle Bearbeitungsprozesse. Die Interaktion zwischen Arbeitskraft und System bezieht sich auf die Bearbeitung von Tabellen, Masken, Grafiken und Texten, die in Dokumenten verändert und abgelegt werden. Meist kommt nur ein Informationssystem zur Anwendung, das vielfältige Vorgehensweisen zuläßt, oder es werden einander ähnliche Systeme hierfür eingesetzt. Bearbeitung in Echtzeit ist anteilmäßig gering. Erst durch die Vernetzung von Systemen und durch verteilte Arbeit wird dieser Anteil wahrscheinlich in Zukunft zunehmen und Büroarbeit der Fertigung ähnlicher. Die eingesetzten Arbeitsmittel und Geräte sind verhältnismäßig wenig kapitalintensiv. In der industriellen Produktion stehen materielle Bearbeitungsprozesse im Vordergrund der Arbeit; es kommen Maschinen mit unterschiedlichen Steuerungen zum Einsatz. Die Interaktion zwischen Arbeitskraft und System bezieht sich hierbei auf die Bearbeitung von Teilen oder die Umwandlung von Stoffen, wobei der Anteil der Bearbeitung in Echtzeit hoch ist. Informationelle Bearbeitungsprozesse der Arbeitskraft begleiten die materiellen Bearbeitungsprozesse lediglich. Die eingesetzten Maschinen und Anlagen sind kapitalintensiv, ihr wirtschaftlicher Einsatz erfordert hohe Nutzzeiten.

Eine kurze (dem hier gewählten Handlungsansatz entsprechende) Interpretation der Standards aus der Bürokommunikation mit Blick auf die industrielle Produktion soll allerdings genügen, um die Tragfähigkeit der Kriterien zu beleuchten. Aufgabenangemessenheit in der industriellen Produktion entspricht der Forderung, Dialoge tätigkeitsspezifisch durchzuführen. Selbsterklärungsfähigkeit entspricht der Forderung, Dialogschritte z.B. für die Programmerstellung und bei Programmkorrekturen verständlich darzustellen und auf Verlangen zu erläutern. Steuerbarkeit entspricht der Forderung nach Orientierungshilfen für das Sich-Bewegen in Menüs, für die selektive Verdichtung von Informationsbeständen, um der Informationsflut Herr zu werden, für die Aufbereitung von Prozeßdaten zur Erhöhung der Transparenz von Prozeßfortschritten und -zuständen, für die Kopplung automatisch gesteuerter Prozesse mit manuellen Eingaben und für die Optimierung von Programmen mittels Erfah-

rungswerten. Erwartungskonformität entspricht der Forderung nach einheitlichen Benutzeroberflächen verschiedener Steuerungen wie auch der Forderung nach übersichtlichen Darstellungen der Auswirkung von Änderungen. Fehlerrobustheit entspricht der Forderung nach verständlichen Fehlermeldungen und Plausibilitätsprüfungen. Individualisierbarkeit entspricht der Forderung, daß Nutzer Datenfelder markieren und Daten nach eigenen Kriterien aufbereiten können. Lernunterstützung entspricht der Forderung, Auswertungen im Sinne der Erfahrungsbildung auszulegen, z.B. Störungsmeldungen mit Kommentaren versehen zu können.

Eine derartige Interpretation der Standards läßt zu, sie in die folgend dargelegten Gestaltungsprinzipien zu integrieren.

Die Gestaltungsprinzipien zum Design von Benutzeroberflächen teilen sich in zwei Ebenen: in die Ebene der strukturellen Prinzipien und jene der operationalen Prinzipien.

3.2 Strukturelle Prinzipien der Gestaltung

Die strukturellen Prinzipien betreffen die prozeßnahe Klassenbildung bei der Objektorientierung, die kontextangemessene Konfiguration von Dialogstrukturen und die Möglichkeiten für individuelle Parallelbearbeitung bei der Aufgabenbewältigung. Durch ihre Anwendung bei der Gestaltung von Datenverarbeitungsprozessen bei mechanischen und informationellen Vorgängen soll ein technisches Niveau gesichert werden, mit dem manuelle (direkte) Zugriffe auf mechanische Prozesse und mediatisierte (indirekte) Zugriffe auf mechanische Bearbeitungsvorgänge und auf Informationsbestände in Handlungsgestalten kombiniert werden können, so daß keine Brüche zwischen verschiedenen Handlungslogiken für die Handhabung mechanischer und informationeller Vorgänge entstehen. Nur dann steht die Logik der Informationsverarbeitung im Einklang mit der Handlungslogik von Arbeitskräften, der Computer wird zum Werkzeug, programmgesteuerte (aufgrund hoher Bearbeitungsgeschwindigkeiten), intransparente Bearbeitungsvorgänge übersichtlich und zugänglich zu machen. Es entsteht eine mediatisierte Prozeßnähe, die die bisherige, bei der Nutzung konventioneller Maschinen mehr körperliche Prozeßnähe ablöst (Molzberger 1994). Beide Formen der Prozeßnähe haben ihre speziellen Vorteile und Voraussetzungen. Es kann nicht darum gehen, die körperliche durch die mediatisierte Prozeßnähe

abzulösen; vielmehr muß es darum gehen, die bisherige Art und Weise, Prozeßnähe herzustellen, auch mit dem Werkzeug und Medium Computer zu ermöglichen. Handlungsgestalten sind für diese Absicht die geeignete Perspektive.

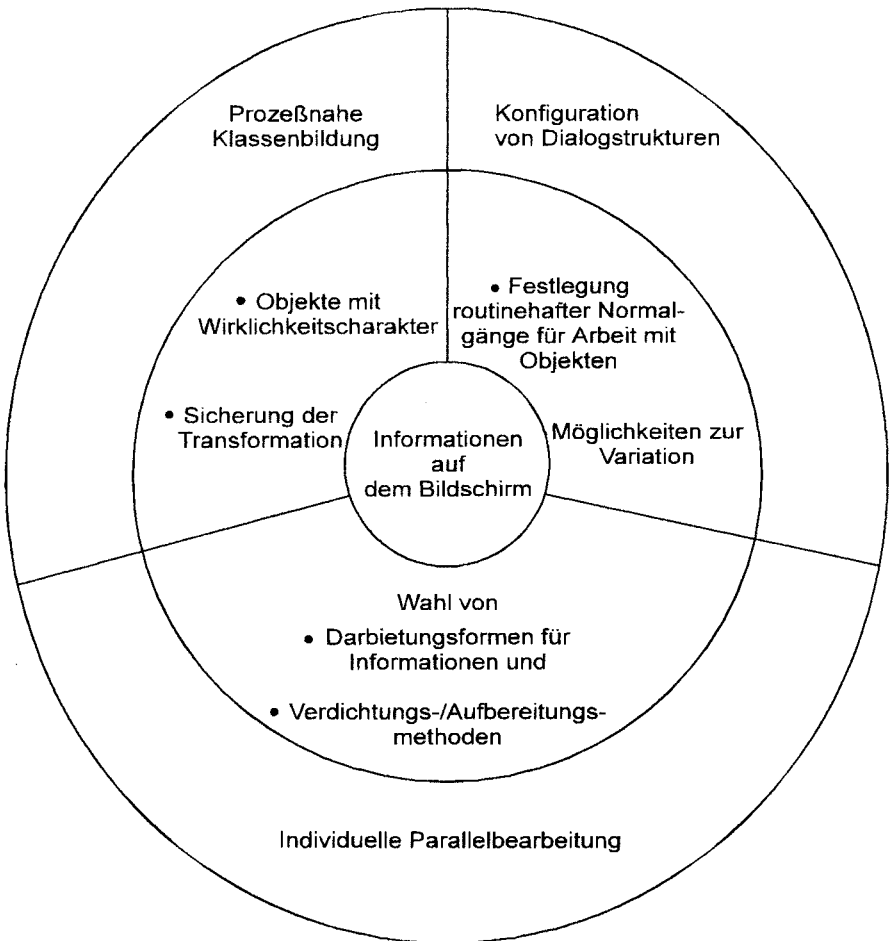


Abb. 4: Strukturelle Gestaltungsprinzipien

Der Anspruch ist hoch, kehrt er doch die vorherrschenden Leitvorstellungen um, bei denen erst die sachbezogene Logik der Datenverarbei-

tung festgelegt wird, so daß bei nachgeordneten oder nachträglichen „benutzerfreundlichen“ Anpassungen auch nur im Rahmen dieser Festlegungen variiert (und damit gehandelt) werden kann. Er läßt sich aber ansatzweise einlösen, wenn die gegenwärtig verfügbaren Techniken anders als bisher kombiniert werden (Mambrey u.a. 1995).

a) Prozeßnahe Klassenbildung bei der Objektorientierung

Prozeßnahe Klassenbildung bei der Objektorientierung zur Steuerung von Maschinen und Anlagen hat zu berücksichtigen, daß die Auswahl und Gliederung der Objekte sich an den in einem Anwendungsbereich relevanten Gegenständen und Vorgängen ausrichtet und nicht wie bisher an den Funktionen von Maschinen und Anlagen oder Informationssystemen. Da die Objekte für den Nutzer den Zugang zu den Informationsmodellen gewährleisten, kommt es darauf an, daß zumindest die für das Arbeitshandeln wichtigsten Gegenstände und Vorgänge eines Handlungsbausteins als Klassen und Methoden Verwendung finden (Klotz 1994; Budde u.a. 1993; Züllighoven 1992). Bei materiellen Bearbeitungsprozessen sind dies beispielsweise Werkzeuge und deren Einsatz, bei informationellen Bearbeitungsprozessen sind es Plantabellen und Auswahllisten und deren Änderungsmöglichkeiten. Nur dann hat die Arbeitskraft die Möglichkeit zu aktivem Lernen im Umgang mit Informationsmodellen und den darin enthaltenen Objekten (Kilberth u.a. 1994).

Solange Objekte für einen Arbeitsbereich (mit einer spezifischen Handlungslogik) zu klassifizieren sind, gilt es somit, die Arbeitsvollzüge dieses Arbeitsbereiches eingehend daraufhin zu analysieren, mit welchen Gegenständen und Vorgängen aktiv Erfahrungen gemacht und genutzt werden können. Die Klassifizierung ist dagegen schwieriger, wenn für mehrere unterschiedliche Handlungsbereiche gemeinsame Gegenstände und Vorgänge für erfahrungsgeleitete Arbeit und Kooperation gefunden werden müssen, um eine durchgängige Bearbeitungsgrundlage sicherzustellen, z.B. für Konstruktion Arbeitsvorbereitung/Programmierung und Fertigung. Bearbeitungsobjekte (auch Features) in Informationsmodellen stellen generell geometrisch geprägte Topologien und Systematiken dar. Die Werkzeugbewegung wird erst bei der realen Bearbeitung und damit kurz vor dem Zeitpunkt des Werkzeugeingriffs ermittelt (Fechter 1994; Storr, Reibetanz 1994). Die Vorstellungen der Arbeitskräfte an den Maschinen gehen demgegenüber von den aktuellen kontextbezogenen Gegebenheiten aus, z.B. von möglichen Aufspannungen, verfügba-

ren Werkzeugen, Werkzeugbewegungen und den damit erzeugbaren Flächen. Die Arbeitskräfte wollen mit einer Aufspannung bzw. einem Werkzeug möglichst viel bearbeiten (Fischer 1995; Böhle, Rose 1990). Auf diese Weise gibt es zwar Korrespondenzen, d.h. Bezugspunkte für das Informationsmodell aus Bearbeitungsobjekten und die Vorstellungswelt der Arbeitskräfte, aber keine vollständige Abbildung der Vorstellungen im Informationsmodell. Setzen sich die Bearbeitungsobjekte aus Makroobjekten (Zerspanungsvolumina) und Elementarobjekten (Bearbeitungsschritten mit Werkzeugen) zusammen (wie im Forschungsverbund WesUF), besteht immerhin die Möglichkeit, Bearbeitungsfolgen auch vom Werkzeug her festzulegen, zu prüfen und zu verändern. Derartig strukturierte Bearbeitungsobjekte schaffen mithin die Möglichkeit, daß unterschiedliche Arbeitsbereiche mit einem gemeinsamen Objekt arbeiten können. Dieses Objekt als gemeinsamer Bezugspunkt schafft die Voraussetzungen für schnellen Erfahrungsaustausch und damit geringeren Änderungsaufwand.

Es geht also darum, daß für die Arbeit in jedem Handlungsbaustein bzw. für eine Kette aus Handlungsbausteinen neben anderen auch prozeßnahe Objekte mit „hohem“ Wirklichkeitscharakter Verwendung finden, da diese für Wahrnehmung, Gedächtnis und Handlung einprägsamer sind und aufgrund von Invarianz ökonomischer gehandhabt werden können. Den höchsten Wirklichkeitseindruck erzeugen Abbilder, bei denen die Referenzen und Relationen der unmittelbaren Anschauung entsprechen, in allen anderen Fällen ist er geringer. Der Wirklichkeitseindruck ist abhängig von den angesprochenen Sinnesqualitäten (d.h. bei Dreidimensionalität und Intermodalität der Sinne höher), vom Bedeutungsgehalt, von der Kontextstimmigkeit, der Valenz von Objekten und schließlich auch von Wirkungseffekten, insbesondere der Antizipierbarkeit (Stadler, Kruse 1990). Prozeßnahe (d.h. mit hohem Wirklichkeitscharakter versehene) Objekte erlauben es, bei der Arbeit von einem Handlungsbaustein in andere überzugehen, ohne die Perspektive und Handlungslogik wechseln zu müssen. Sie gehören einer subjektiv erlebten Ganzheit an und sichern im bewußten Erleben die phänomenale Präsenz (Menzinger 1996).

Aus der Sicht der Informationstechnik bedarf es auch weiterer Klassen und Methoden, die für die sichere und schnelle Informationsverarbeitung im Rechner erforderlich sind und für den Nutzer lediglich in bezug auf Wirkung und Ergebnisse vorstellbar gemacht werden müssen. Als Beispiel seien hier Objekte für Navigation in Informationsbeständen und vernetzten Informationssystemen erwähnt.

Werden Objekte aus verschiedenen Anwendungsbereichen (z.B. Zerspaltung, Messen, Materialtransport, Auftragsabwicklung, Nachrichtenübertragung) in Informationsmodellen verwendet, können sie für erfahrungsgeleitete Arbeit und Kooperation nur dann im Zusammenhang genutzt werden, wenn in den Modellen zu jedem Anwendungsbereich auch prozeßnahe Objekte enthalten sind. Darüber hinaus braucht der Nutzer Werkzeuge, um die Objekte verschiedener Anwendungsbereiche in speziellen zusammengesetzten Objekten zu koppeln, die für ihn gleichwohl mit Vorgängen aus konkreten Arbeitszusammenhängen für die Gewährleistung von Prozeßsicherheit korrespondieren. Hier liegt noch erheblicher Forschungsbedarf.

b) Konfiguration von Dialogstrukturen

Die Dialogstrukturen sollten möglichst Nutzung wie Erzeugung von Handlungsgestalten unterstützen. Dabei ist davon auszugehen, daß es derartige Strukturen im unmittelbaren materiellen Bearbeitungsprozeß gibt, um beispielsweise mit Bearbeitungsobjekten Funktionen von Maschinen und Anlagen aufzurufen, wie auch Dialogstrukturen im Umgang mit informationellen Vorgängen, um etwa mittels Interaktionsobjekte Darstellungsformen oder Verdichtungsmethoden für Informationen auszuwählen (Krause 1993).

Voraussetzung ist die Konfigurierbarkeit von Objekten und Bearbeitungsmethoden auf eine Weise, die keine Programmierkenntnisse von Nutzern erfordert. Dann nämlich haben Nutzer die Möglichkeit, Objekte so zu verketteten, daß sie typische Tätigkeiten in Sequenzen zusammenfassen können. Die Nutzer schaffen sich so nicht nur idealtypische Objekte, sondern auch revidierbare idealtypische Handlungsabläufe (Paetau 1990).

Diese Konfigurierbarkeit läßt sich nur gewährleisten, wenn den Nutzern vorstrukturierte Module und Konfigurationswerkzeuge zur Verfügung gestellt werden, mit denen sie ihre Systemversionen zusammenstellen und ablegen (Raether 1993). Der Anwender erhält bei der Inbetriebnahme auch einen mittels der Werkzeuge erstellten Satz bereits vorgefertigter prototypischer Abläufe als Dialogformen (Viereck 1993). Diese Dialogformen werden den Handlungsgestalten und Arbeitsstrukturen der Anwender dabei um so mehr entsprechen, je frühzeitiger der Hersteller die Nutzer in ihre Erstellung einbezogen hat (Klotz 1994). Nichtsdesto-

weniger erhält der Anwender aber ein Werkzeug, um die vorgefertigten Versionen zu modifizieren oder weitere zu erstellen (Körndle 1993). Der Anwender ist dann auch in der Lage, andere marktgängige (vom Hersteller nicht mitgelieferte) objektorientierte Methoden zu integrieren. Aus Gründen der technischen Kopplung verschiedener Systeme (z.B. zur Geometriebestimmung, Bearbeitung von Zerspanungsvorgängen, zum Messen und Prüfen), die auch von anderen Nutzern eingesetzt werden, aber auch aus Gründen der Integration der technischen Unterstützung für unterschiedliche Formen der Arbeitsorganisation (geführte Gruppenarbeit, selbstorganisierte Gruppenarbeit, verkettete Arbeitsplätze, Schichtarbeit, zentrale und dezentrale Aufgabenwahrnehmung, Aufgabenbearbeitung im Netz) bedarf es dabei vor allem der Absprache, mit welcher Version gearbeitet werden soll. Erst durch derartige Absprachen wird eine gültige Version festgelegt, während Varianten durch eine oder mehrere Arbeitskräfte für die Bearbeitung kritischer Situationen gewählt werden können. Auf diese Weise kommt ein schrittweiser Lernprozeß für kooperative Arbeit in Gang (Paetau 1993). Der Computer wirkt als Medium für Koordination und Kooperation (Budde u.a. 1993).

Mit der Konfigurierbarkeit wird der Praxis ermöglicht, die Komplexität der Arbeitsstrukturen und deren adäquate technische Unterstützung zu erhöhen. Die Konfigurierbarkeit erlaubt durch Absprache der routinemäßigen Normalgänge eine Vereinheitlichung, ebenso aber durch die Möglichkeit, mit Varianten umzugehen, auch eine kontextangemessene Differenzierung. Diese Differenzierung gestattet die notwendige Flexibilität im Umgang mit Steuerungs- und Informationssystemen, wie dies insbesondere für die Bewältigung abteilungsübergreifender Aufgaben, z.B. für Produktinnovation, Qualitätssicherung, Logistik und Controlling, und für die Bewältigung kritischer Situationen bei der Arbeit mit Anlagen und Maschinen vorteilhaft ist.

c) Individuelle Parallelbearbeitung

Um die wachsende Informationsflut beherrschen zu können, sollte das Prinzip der individuellen Parallelbearbeitung zur Geltung kommen, da dies laufend Vergleiche ermöglicht, die für eine Strategiebildung einschlagender Wege und für die Bewertung erreichter Zustände genutzt werden können. Dies bezieht sich einmal auf paralleles Arbeiten mit dem materiellen Bearbeitungsprozeß wie auch mit informationellen Bearbeitungsprozessen. Es bezieht sich darüber hinaus aber auch auf paral-

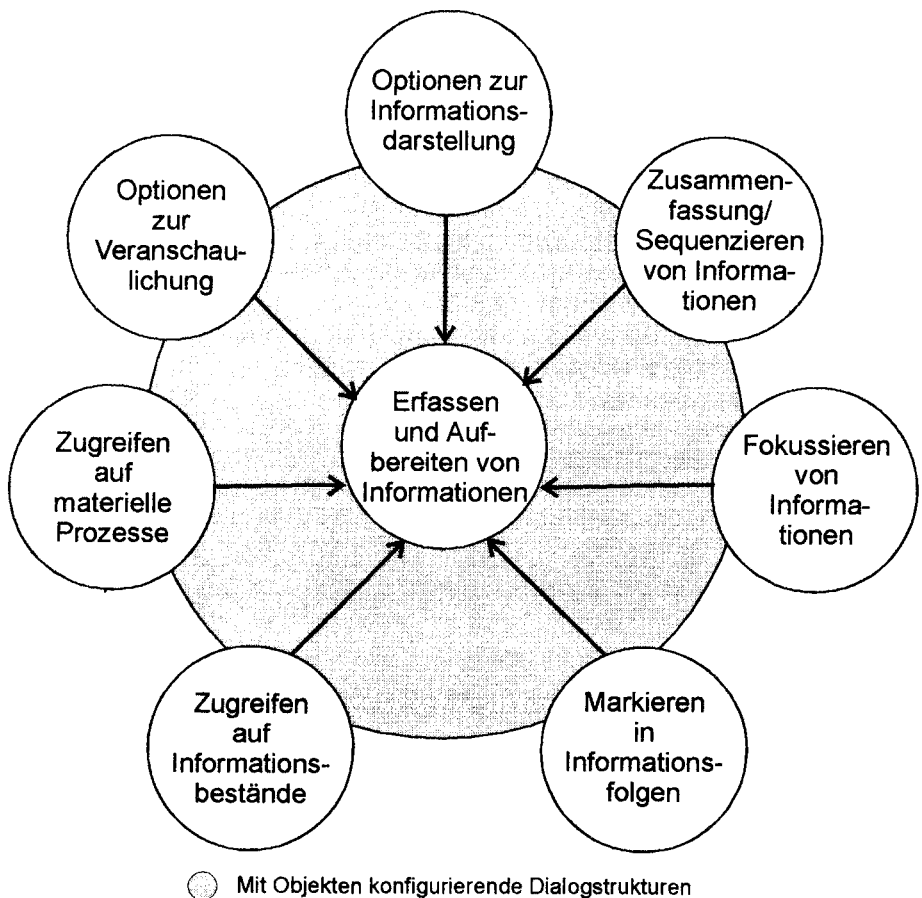


Abb. 5: Operationale Gestaltungsprinzipien

leles Arbeiten in diesen beiden Handlungsbereichen. Beim materiellen Bearbeitungsprozeß umfaßt das Prinzip manuelle Vorgehensweisen neben der Führung programmgesteuerter Vorgänge ebenso wie die direkte Beobachtung von Prozessen neben der Beobachtung automatisch erfaßter und aufbereiteter Informationen. Beim Umgang mit informationellen Bearbeitungsprozessen bezieht es sich auf die Wahl und Nutzung von Interaktions- bzw. Dialogobjekten wie Ausgaben- und Datenfeldern, Listen, Skalen usw. (Weisbecker 1993). Dadurch wird die gleichzeitige Darbietung von Informationen in verschiedenen Formen möglich, z.B. mit

Hintergrund und Vordergrund oder als Möglichkeit der Gegenüberstellung von Daten (z.B. Koordinatenangaben bei Bearbeitungsvorgängen) mit Grafiken (z.B. der Aufsicht auf Verfahrenwege von Werkzeugen). Auch die Kopplung von visuellen Präsentationen mit speziellen Ausgabetechniken zum Hören (z.B. von Körperschallgeräuschen) oder Eingabetechniken mittels spezieller Bedienelemente, wie Handrad oder Joystick, schafft weitere Vergleichsmöglichkeiten. Auch die Informationsauswertung nach unterschiedlichen Methoden, z.B. für Gesamtprozesse und für einzelne markierte Prozeßstellen, erlaubt laufendes Vergleichen. Die notwendige Informationsverarbeitung der Arbeitskraft findet auf diese Weise in der maschinellen Informationsverarbeitung ihre adäquate Unterstützung (Koller 1993).

3.3 Operationale Prinzipien der Gestaltung

Die operationalen Prinzipien betreffen die Repräsentations- und Interaktionsformen bei informationellen Bearbeitungsprozessen sowie die Möglichkeiten für aktive Zugriffe auf materielle Bearbeitungsabläufe.

a) Repräsentation von und Interaktion mit Informationen

Für die Repräsentation von Informationen sollten der Arbeitskraft verschiedene Optionen der Veranschaulichung und Aufbereitung für die Erfüllung von Arbeitsaufgaben angeboten werden. Dazu gehören Vorgehensweisen des Selektierens, des Fokussierens, des Markierens und des Sequenzierens (Dutke 1994; Benda u.a. 1994; Huthmann u.a. 1993).

So sollte es möglich sein, selektierte Übersichten aufzurufen, z.B. über Ausgangsbedingungen, Bearbeitungsstrategien und Prozeßzustände (bei materiellen wie informationellen Prozessen). Bei den materiellen Prozessen handelt es sich z.B. um Übersichten über den Materialfluß verketteter Maschinen, um die Aufspannsituation im Arbeitsraum der Maschine oder um die Strategie für Bearbeitungsabläufe, bei informationellen Prozessen z.B. um Übersichten über Tabellen - wie etwa Technologiewerte und deren Änderungen (Spath u.a. 1995) - oder um Strukturgraphen zum Auffinden der Tabellen (Specht, Gernert 1994). Auch die Rückkopplung von Prozeß- und Produktionsdaten mit anderen Stationen in Verfahrensketten gehört hierzu. Weiter geht es darum, daß einzelne Positionen in diesen Übersichten fokussiert werden können, um an diesen

Stellen weitere Informationen, ggf. auch nur andere, anschaulichere Darstellungsformen, wie z.B. die Visualisierung von Programmabschnitten oder einen Perspektivenwechsel, aufzurufen oder mögliche Manipulationen zu vollziehen, indem z.B. Werte geändert werden.

In einer Variante dieser Vorgehensweise werden in den Bearbeitungsfolgen (bzw. in den Programmen) Stellen markiert, über die beim automatischen Ablauf in ausgewählter Weise Informationen geliefert werden.

In gleicher Weise scheint es vorteilhaft, wenn sich in Bearbeitungsfolgen (der materiellen Prozesse oder der Informationsverarbeitung) Abschnitte sequenzieren lassen, so daß sie als Muster insgesamt behandelt werden können, also wie Makros fungieren.

b) Aktive Zugriffe auf Bearbeitungsabläufe

Die Möglichkeiten für aktive Zugriffe sollten sich auf materielle Bearbeitungsabläufe der Maschine oder Anlage wie auch auf Informationsverarbeitungsprozesse beziehen.

Bei den materiellen Bearbeitungsprozessen geht es um eine Kopplung manueller Bearbeitung mit automatischen Programmläufen, d.h. um den sicheren Wechsel zwischen Betriebsarten, so daß gewünschte Unterbrechungen stattfinden können, um z.B. einzelne Abschnitte manuell abzufahren, optische bzw. manuelle Prüfungen (mit Meßgeräten) vorzunehmen oder Werkzeuge auszuwechseln. Auch bei Störungen, etwa durch Verschleiß von Maschinenkomponenten und durch Werkzeugbruch oder Fehler im Materialfluß, ist es wichtig, daß manuelle Zugriffe erfolgen können. Bei diesen Ereignissen wird der Nutzer bei seiner Arbeit durch Rückzugs- und Wiederanfahrstrategien sowie durch die Übernahme manuell eingestellter Werte in Bearbeitungsprogramme unterstützt, um beispielsweise Werkzeugbahnen im Schnitt (d.h. in der Schnittaufteilung) wie auch zwischen Bearbeitungsabschnitten (-objekten) zu beeinflussen. Immer dann, wenn Bearbeitungsprogramme oder -abschnitte an einzelnen Maschinen manuell, z.B. mittels Bedienelementen wie Handrad oder Joystick, erstellt werden, geht es auch darum, daß sich diese Vorgänge in das Informationsmodell transferieren lassen. Auch die Nutzung von Bedienelementen an der Maschine und von Geräten beim Einrichten und Messen bedarf dieser Transformation. Da manuelle Bearbeitung insbesondere körperbewußte und prozeßnahe Arbeit ermöglicht, stellt sie

auch in Zukunft eine wichtige Option zum Erfahrungslernen dar (Rose 1995b; Spur u.a. 1994; Böhle u.a. 1993). Objektorientierte Produktionsarbeit über Leitstände und Bedienpulte macht sie nicht überflüssig.

Bei den Informationsverarbeitungsprozessen geht es um eine wenig aufwendige Ankopplung von Dialogobjekten untereinander oder das Springen von einem Dialogobjekt zu einem anderen im Sinne kurzer Wege, ohne komplizierte Menüstrukturen durchlaufen zu müssen, so daß heuristisch vorgegangen werden kann, z.B. bei der Wiederholteilsuche oder Bewertung der Standzeit (Hartmann 1995) oder der Interpretation von Meßdaten und Produktionsdaten.

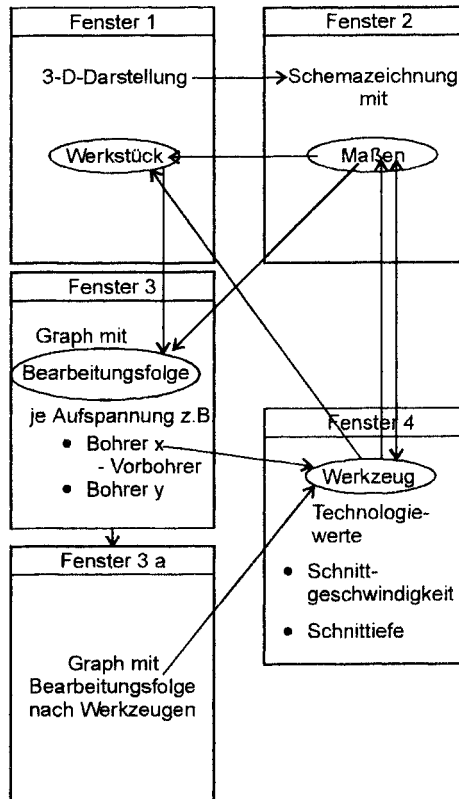
3.4 Beispiel für die Gestaltung der Benutzeroberfläche

Um die zuvor erläuterten Gestaltungskriterien zu veranschaulichen, soll hier ein Beispiel aus dem Forschungsverbund WesUF angeführt werden, wie das Bildschirmdesign für den Handlungsbaustein Arbeitsplanung mit Bearbeitungsobjekten gestaltet werden kann.

Es wird davon ausgegangen, daß die Arbeitskraft statt einer Werkstückzeichnung Geometriedaten auf dem Bildschirm zur Bearbeitung erhält und mit möglichst wenig Aufspannungen, d.h. möglichst wenig Umrüstungen, einen Rohling bearbeiten möchte.

Auf dem gestalteten Bildschirmdesign findet die Arbeitskraft vier Fenster vor. In zwei Fenstern kann sie sich über das Werkstück informieren: In einem Fenster wird das Werkstück voluminös in 3-D dargestellt, in einem zweiten ein 2,5-D-Schema mit Bemaßung. Durch die 3-D-Darstellung braucht die Arbeitskraft nicht (wie sonst nur bei Übergabe einer Zeichnung) selbst erst eine grobe Vorstellung von dem zu erstellenden Teil entwickeln. Das 2,5-D-Schema mit der Bemaßung erlaubt dann (mit ständigem Vergleich mit der voluminösen Darstellung) eine genauere Orientierung über die Anzahl der notwendigen Aufspannungen und der damit verbundenen Werkzeuge. Die Arbeitskraft entscheidet dann, an welcher Seite des Rohlings und mit welcher Bearbeitung sie beginnen will und wie die weiteren Bearbeitungsfolgen sein sollen. Dabei klickt sie die entsprechenden Stellen auf der 3-D-Darstellung an. Auf diese Weise ergibt sich ein Histogramm der Bearbeitungsfolge aus Bearbeitungsobjekten und Bearbeitungsschritten in einem Prozeßfenster. In einem weiteren Detailfenster werden die Technologiewerte der Werkzeuge bei ei-

Vorgang: Auftrag/Aufspannung/Maschine
Werkzeug/Bearbeiten/Messen/Dokumentieren



—————→ einige Vergleichsmöglichkeiten

Abb. 6: Beispielhaftes Bildschirmdesign für die Tätigkeit Bearbeiten

dem Bearbeitungsschritt angezeigt. Werden Bearbeitungsfolgen zusammen mit den Werkstückdarstellungen vorgegeben, kann die Arbeitskraft prüfen, ob diese Folgen und Technologiewerte ihrer Erfahrung entsprechen und ggf. Folgen und Werte ändern. Die Arbeitskraft kann aber auch ihre Vorgehensweise ändern, indem sie die Bearbeitung von den

Werkzeugen her entwickelt. Sie bestimmt die Aufspannungen, legt die ersten Bearbeitungsschritte fest und bildet dann die Bearbeitungsreihenfolge nach den Werkzeugen.

Beim Handlungsbaustein „Bearbeiten“ kann die Arbeitskraft neben den hier erwähnten Fenstern weitere Fenster öffnen, z.B. die Darstellung der Verfahrenswege des im Einsatz befindlichen Werkzeugs sowie Anzeigen über die Achsenbewegungen und über Antriebsleistungen der Maschine.

4. Förderliche Bedingungen für die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien

Abschließend soll noch kurz auf die Umsetzungsmöglichkeiten für die hier vorgestellten Gestaltungsprinzipien eingegangen werden.

4.1 Notwendigkeit der Zusammenarbeit bei Innovationen

Die eingangs erwähnten üblichen Auftrags- und Lieferverhandlungen (s. Abschnitt 1, 1.1) eignen sich allenfalls dazu, einzelne Aspekte der Handlungs- und Gruppenorientierung (im Sinne werkstattorientierter Programmierung bzw. Produktionsentwicklung) bei Weiterentwicklungen bewährter Steuerungskonzepte aufzunehmen. Dies wird um so mehr der Fall sein, als auch Fachleute aus anderen als den bisher üblichen Bereichen - dem Vertrieb auf Herstellerseite und dem Einkauf auf Anwenderseite - an der Festlegung von Anforderungsprofilen und Lastenheften beteiligt sind, also die Auftrags- und Lieferverhandlungen mehr Stufen im Sinne von integrativer Prozeßentwicklung zulassen. Dazu können vor allem klärende Vorgespräche und der Erfahrungsaustausch beim Test von Prototypen für eine funktionsübergreifende Integration auf seiten der Anwender (zwischen Einkauf, Fertigung und Produktionsplanung) und auf seiten der Hersteller (zwischen technischem Vertrieb, Inbetriebnehmern und Entwicklern) dienen (Wheelwright 1994). Allerdings wird es bei dieser Vorgehensweise nur bei anwenderspezifischen Lösungen bleiben. Durchgängige und leicht ausbaufähige Systeme sind - wenn Maschinen mit verschiedenen Steuerungen eingesetzt werden - so nur schwer und aufwendig zu realisieren.

Die herkömmlichen Auftrags- und Lieferverhandlungen sind dagegen weniger geeignet, um den hier geforderten Perspektivenwandel auf breiterer Basis in Gang zu bringen, da ihn auch noch so große Anwender oder Hersteller allein nicht durchsetzen können. Kein Auftragsvolumen ist angesichts der immensen Aufwendungen groß genug und kein Hersteller hat soviel Kompetenz gleichzeitig verfügbar. Auch bei den Empfehlungen von Normierungsgremien können keine Sprünge in der hier vorgestellten Richtung erwartet werden, da sie sich am Stand der Technik orientieren. Es kommt dagegen vielmehr auf einen anwender- und herstellerübergreifenden kooperativen Wertschöpfungsprozeß an, d.h. auf einen Prozeß, bei dem möglichst viele mitziehen, weil sie dadurch Vorteile erzielen können. Beim Anwender stehen hier geringere Integrations- und Betriebskosten (als Teil von mittelfristig betrachteten Investitionen) im Blickpunkt, beim Hersteller geringere Kosten für Änderungen, Anpassungen und Gewährleistung.

4.2 Kooperative Wertschöpfung

Für eine anwender- und herstellerübergreifende Wertschöpfung bieten sich zwei Strategien an: eine zur integrativen Konzeptbildung und eine zur Organisation von Entwicklungsprozessen.

Eine aussichtsreiche Strategie für integrative Konzeptbildung besteht darin, eine gemeinsame Plattform für offene Steuerungen zu entwickeln (wie bei den Verbundvorhaben OSACA der Europäischen Union und HÜMNOS des BMBF in Deutschland) und auf dieser Plattform objektorientierte Informationsmodelle (wie sie der Verbund WesUF aufzeigt) zu implementieren. Diese Strategie erlaubt auch, auf andere marktgängige Informations- und Multimediasysteme zuzugreifen und reduziert auf diese Weise den Eigenaufwand bei Entwicklungen und Anpassungen. Da einzelne Module je nach Bedarf verwendet werden können und miteinander koppelbar sind, lassen sich auch (schon lange angestrebte) Durchgängigkeit von Systemlösungen und die (ebenfalls lange geforderte) Wiederverwendbarkeit von Modulen bei Umstrukturierungen und Erweiterungen sichern.

Darüber hinaus sind neue Strategien der Organisation für die Produktionsentwicklung auf Anwenderseite und Produktentwicklung auf Herstellerseite und deren systematische Verknüpfung im Sinne kooperativer Netzwerke förderlich (Rose 1995; Spur u.a. 1994). Dazu gehört laufende

koordinierte Zusammenarbeit auf Anwenderseite von Produktionsentwicklung, Konstruktion, Fertigung und Kunden sowie auf Herstellerseite von Entwicklung, Inbetriebnahme, Fertigung und Kunden. Dazu gehören aber auch Absprachen zwischen Anwendern und Herstellern im Verlauf der Lebenszyklen von Maschinen und Systemen, z.B. bei der Prototypentwicklung von Maschinen und Anlagen, bei deren Inbetriebnahme und Integration in Systeme und schließlich bei der Umstrukturierung und Weiterentwicklung von Systemen. Derartige kooperative Netzwerke können Innovationsprozesse auf Anwender- wie auf Herstellerseite beschleunigen und damit Marktvorsprünge sichern.

4.3 Komplexitätsbeherrschung als synergetischer Effekt

Beide Strategien (der anwender- und herstellerübergreifenden Konzept- wie Netzbildung) sind vor allem in ihrer Kombination geeignet, die aufgrund sich verändernder Marktbedingungen (wie Globalisierung, schrumpfende Marktausschöpfungszeiten, verkürzte Produktlebenszyklen usw.) wachsende Komplexität für Anwender wie Hersteller beherrschbarer zu machen. Dies ist die entscheidende Herausforderung zu Beginn des 21. Jahrhunderts (Warnecke, Becker 1994; Reiß 1993).

In den gegenwärtig propagierten Ansätzen (z.B. des Reengineering) stehen im Hinblick auf den Umgang mit Komplexität nach wie vor Strategien zur Verringerung und Vermeidung von Komplexität im Vordergrund. Zu diesem Zweck wurden und werden einzelne Faktoren für die Leistungserstellung im Unternehmen optimiert (z.B. modulartig aufgebaute Maschinen- und Steuerungskonzepte, marktbezogene Strukturierung von Geschäftsprozessen, weitgehende Dezentralisierung von Aufgaben, Zusammenarbeit verschiedener Abteilungen bei Projekten usw.). Die damit kurzfristig erzielbaren Leistungssteigerungen und Kosteneinsparungen sind beachtlich (Nippa, Picot 1996; Hammer, Champy 1995). Der Vorteil ergibt sich insbesondere dann, wenn es um Produkt- und Marktdifferenzierung vor allem einzelner Unternehmen geht. Eine innovationssichernde, langfristig angelegte Infrastruktur mehrerer Unternehmen entsteht auf diese Weise nicht. Die hier kurz erwähnten Strategien stellen vor allem in ihrer Kombination eine aussichtsreiche Perspektive dar, und zwar weil die durch ihre Umsetzung bewirkte Dynamik geeignet erscheint, einerseits Komplexität (durch Übersicht) zu reduzieren, gleichzeitig aber noch genügend Impulse ausgelöst werden, um andererseits Komplexität zu erhöhen, so daß sich Innovationsanlässe ergeben.

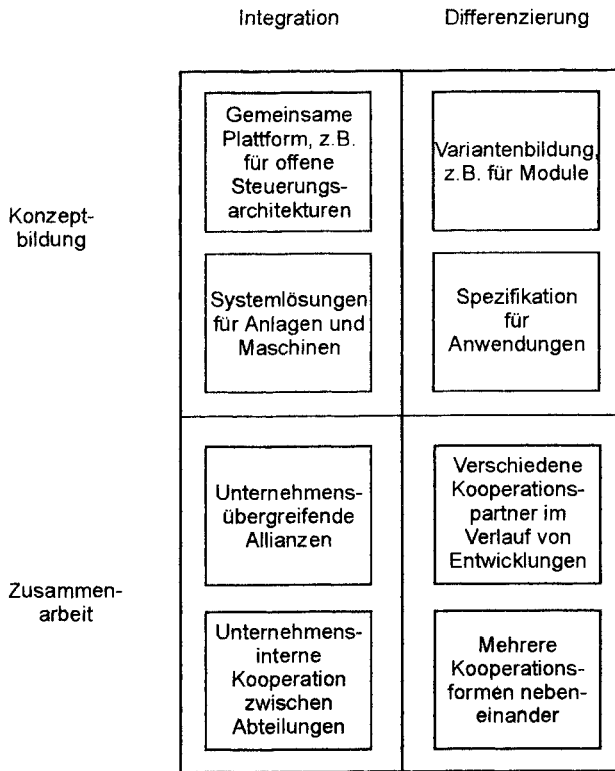


Abb. 7: Ansatzpunkte zur Komplexitätsbeherrschung

Nach der Komplexitätstheorie (u.a. Eisenhardt u.a. 1995; Lewin 1993) ist die Steigerung von Komplexität das Ergebnis zweier sich wechselseitig beeinflussender Prozesse: Der eine erzeugt Vielfalt aufgrund von Differenzierung, der andere Integration aufgrund sich entwickelnder Ordnungsmuster. Bei der Strategie offener Systembildung erfolgt die Differenzierung durch Erzeugung von Varianten miteinander gekoppelter Module und die Integration durch Herausbildung sich bewährender Modulkombinationen. Bei der Strategie der Bildung kooperativer Netzwerke beruht die Differenzierung auf der Einrichtung unterschiedlicher Formen der Zusammenarbeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten, während die Integration durch Herausbildung bewährter Nahtstellen zwischen Abteilungen in einem Unternehmen und zwischen mehreren Unternehmen sowie durch hierauf bezogene Übergabeinhalte und -formate der

Kommunikation erfolgt. Derartige Netzwerke handeln nicht durch ein einheitliches Willens- und Aktionszentrum, sondern über eine Vielzahl von Knoten, die jeweils autonom, aber zugleich für das Netz operieren. Das Netz selbst ergibt sich als emergentes Phänomen (Teubner 1994). Die Gestaltung nutzergerechter Repräsentations- und Interaktionsformen wird dann zu einem allgemein gültigen Kriterium, da es für alle Austauschbeziehungen in einem Unternehmen gilt.

Literatur

- Bateson, G.: Form, Substanz und Differenz. In: G. Bateson (Hrsg.): Ökologie des Geistes, Frankfurt 1983, S. 576-597.
- Beckermann, A.: Visuelle Informationsverarbeitung und phänomenales Bewußtsein. In: T. Menzinger (Hrsg.): Bewußtsein, Paderborn 1996, S. 663-682.
- Benda, H. v.; Gourmelon, A.; Just, S.; Knabe, G.; Olschner, S.; Prager, W.: Softwaregestaltung und -bewertung aus gedächtnispsychologischer Sicht, Institut für Psychologie, Lehrstuhl II, Memorandum Nr. 81, Erlangen/Nürnberg, März 1994.
- Böhle, F.; Carus, U.; Schulze, H.: Manuelle Steuerung von CNC-Werkzeugmaschinen - Ein zukunftsweisender Ansatz für die steuerungstechnische Entwicklung. In: VDI-Z, Heft 3, 135. Jg., 1993, S. 14-20.
- Böhle, F.; Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit bei Werkstattprogrammierung - Perspektiven für Programmierverfahren und Steuerungstechniken. In: H. Rose (Hrsg.): Programmieren in der Werkstatt, Frankfurt 1990, S. 11-95.
- Böhle, F.; Rose, H.: Technik und Erfahrung - Arbeit in hochautomatisierten Systemen, Frankfurt/New York 1992.
- Böhle, F.; Rose, H.: CeA: Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Technik - Erfahrung als Leistungsfaktor der flexiblen Produktion. In: Technische Rundschau, Heft 36, 85. Jg., 1993, S. 26-29.
- Bolte, A.; Carus, U.; Schulze, H.G.; Striepe, S.: Erfahrungsförderlichkeit als Gestaltungsanforderung für Benutzeroberflächen von CNC-Werkzeugmaschinen. In: K.H. Rödiger (Hrsg.): Software-Ergonomie 1993, ACM Berichte 39, Stuttgart 1993, S. 215-226.
- Budde, R.; Christ-Neumann, M.; Sylla, K.; Züllighoven, H.: Das Leitbild qualifizierter Arbeit und die Metaphern „Werkzeug“ und „Material“ für Herstellung und Einsatz von Computeranwendungen. In: W. Müller; E. Senghaas-Knoblach (Hrsg.): Arbeitsgerechte Softwaregestaltung, Münster 1993, S. 125-138.
- Churchland, P.S.: Die Neurobiologie des Bewußtseins - Was können wir von ihr lernen? In: T. Menzinger (Hrsg.): Bewußtsein, Paderborn 1996, S. 463-490.
- Damasio, A.R.: Descartes' Irrtum - Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn, München 1994.

- Dreyfus, H.L.; Dreyfus, St.E.: Künstliche Intelligenz - Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition, Reinbek 1988.
- Dutke, S.: Mentale Modelle - Konstrukte des Wissens und Verstehens, Göttingen 1994.
- Eichener, V.: Software-ergonomische Normierung im Rahmen des europäischen Arbeitsschutzes. In: U. Konradt; L. Drisis (Hrsg.): Software-Ergonomie in der Gruppenarbeit, Opladen 1993, S. 101-120.
- Eisenhardt, P.; Kurth, D.; Stiehl, H.: Wie Neues entsteht - Die Wissenschaften des Komplexen und Fraktalen, Reinbek 1995.
- Elke, G.; Konradt, U.; Majonica, B.; Zimolong, B.: Problemfelder und Perspektiven kooperationsfördernder Software. In: U. Konradt; L. Drisis (Hrsg.): Software-Ergonomie in der Gruppenarbeit, Opladen 1993, S. 9-22.
- Engelkamp, J.: Das menschliche Gedächtnis, 2. Auflage, Göttingen 1991.
- Eversheim, W.; Müller, G.; Katzy, B.R. : NC-Verfahrenskette, Berlin/Wien 1994.
- Fechter, Th.A.: Prozeßbezogene Geometrieverarbeitung beim Fräsen. In: wt - Produktion und Management, Heft 84, 1994, S. 334-336.
- Fischer, M.: Technikverständnis von Facharbeitern im Spannungsfeld von beruflicher Bildung und Arbeitserfahrung, Bremen 1995.
- Haken, H.: Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung - Synergetik als Schlüssel zum Gehirn, Stuttgart 1992.
- Hammer, M; Champy, J.: Business Reengineering, Frankfurt 1995.
- Hartmann, E.A.: Eine Methodik zur Gestaltung kognitiv kompatibler Mensch-Maschine-Schnittstellen, angewendet am Beispiel der Steuerung einer CNC-Drehmaschine, Aachen 1995.
- Hirsch-Kreinsen, H.: Dezentralisierung: Unternehmen zwischen Stabilität und Desintegration. In: Zeitschrift für Soziologie, Heft 6, 24. Jg., 1995, S. 422-435.
- Hirsch-Kreinsen, H.: Restrukturierung von Unternehmen - Ziele, Formen und Probleme dezentraler Organisationen. In: B. Lutz u.a. (Hrsg.): Produzieren im 21. Jahrhundert, Frankfurt/New York 1996, S. 195-223.
- Huthmann, A.; Thines, M.; Bamberger, R.; Laubscher, H.P.: Benutzergerechte, aufgabengerechte und effiziente Leitstände. In: W. Coy u.a. (Hrsg.): Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor, Stuttgart 1993, S. 329-347.
- Johannsen, G.: Mensch - Maschine - Systeme, Berlin 1993.
- Kebeck, G.: Wahrnehmung, Weinheim 1994.
- Kilberth, K.; Gryczan, G.; Züllighoven, H.: Objektorientierte Anwendungsentwicklung, Braunschweig 1994.
- Kleinschmidt, M.; Pekruhl, U.: Kooperative Arbeitsstrukturen und Gruppenarbeit in Deutschland, Institut für Arbeit und Technik, Gelsenkirchen 1994.
- Klotz, U.: Objektorientierung - ein facettenreiches Leitbild verbindet Flexibilität mit humaner Arbeitsgestaltung. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Heft 2, 48. Jg., 1994, S. 99-112.

- Kluwe, R.; Haider, H.: Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. In: J. Engelkamp; Th. Pechmann (Hrsg.): Mentale Repräsentation, Bern 1993, S. 127-146.
- Körndle, H.: Mensch-Computer-Interaktion, Wiesbaden 1993.
- Koller, F.: Multimedia-Unterstützungssysteme im CNC-Bereich. In: U. Konradt; L. Drisis (Hrsg.): Software-Ergonomie in der Gruppenarbeit, Opladen 1993, S. 135-146.
- Krause, J.: Komplexe Menüs, Häkchen und Funktionsobjekte. In: K.H. Rödiger (Hrsg.): Software-Ergonomie 93, Stuttgart 1993, S. 123-132.
- Lauter, B.: Software-Ergonomie in der Praxis, München 1987.
- Lewin, R.: Die Komplexitätstheorie - Wissenschaft nach der Chaos-Forschung, Hamburg 1993.
- Mambrey, P.; Paetau, M.; Tepper, A.: Technikentwicklung durch Leitbilder, Frankfurt 1995.
- Martin, H. (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995.
- Menzinger, T.: Ganzheit, Homogenität und Zeitkodierung. In: T. Menzinger (Hrsg.): Bewußtsein, Paderborn 1996, S. 595-633.
- Michotte, A.: Gesammelte Werke, Band 1: Die phänomenale Kausalität, Bern/Stuttgart 1982.
- Moldaschl, M.: Kooperative Netzwerke. In: P. Schönsleben u.a. (Hrsg.): Werkstattmanagement, Zürich 1996.
- Molzberger, P.: Der Computer als Kommunikationspartner? In: B. Beuscher (Hrsg.): Schnittstelle Mensch - Menschen und Computer-Erfahrungen zwischen Technologie und Anthropologie, Heidelberg 1994, S. 47-68.
- Nadler, D.A.; Gerstein, M.S.; Shaw, R.B.: Organisations-Architektur, Frankfurt 1994.
- Neumann, O.: Kognitive Vermittlung und direkte Parameterspezifikation - Zum Problem mentaler Repräsentation in der Wahrnehmung. In: J. Engelkamp; Th. Pechmann (Hrsg.): Mentale Repräsentation, Bern 1993, S. 63-80.
- Nippa, M.; Picot, A. (Hrsg.): Prozeßmanagement und Reengineering, Frankfurt 1996.
- Oberquelle, H. (Hrsg.): Kooperative Arbeit und Computerunterstützung, Göttingen 1991.
- Oberquelle, H.: Anpaßbarkeit von Groupware als Basis für die dynamische Gestaltung von computergestützter Gruppenarbeit. In: U. Konradt; L. Drisis (Hrsg.): Software-Ergonomie in der Gruppenarbeit, Opladen 1993, S. 37-54.
- Paetau, M.: Mensch-Maschine-Kommunikation, Frankfurt 1990.
- Paetau, M.: Konfigurative Technik und die Dynamik sozialer Systeme. In: W. Müller; E. Senghaas-Knoblach (Hrsg.): Arbeitsgerechte Softwaregestaltung, Münster/Hamburg 1993, S. 149-180.
- Perrig, W.J.; Wippich, W.; Perrig-Chiello, P.: Unbewußte Informationsverarbeitung, Bern 1993.

- Pritschow, G.: Wozu „offene Steuerungssysteme“? In: W. Kunerth (Hrsg.): Menschen. Maschinen. Märkte, Berlin/Heidelberg 1994, S. 115-131.
- Raether, Ch.: Konfigurationswerkzeuge für anpaßbare Leitstände. In W. Coy u.a. (Hrsg.): Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor, Stuttgart 1993, S. 324-328.
- Reiß, M.: Komplexität beherrschen durch „Orga-Tuning“. In: M. Reiß u.a. (Hrsg.): Komplexität meistern - Wettbewerbsfähigkeit sichern, Stuttgart 1993, S. 3-40.
- Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit als Fokus für Arbeitsgestaltung und Technikentwicklung. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, Heft 1, 1992, S. 22-29.
- Rose, H.: Produktentwicklung im 21. Jahrhundert - Beispiel Werkzeugmaschinenbau. In: VDI-Z, Heft 9, 136. Jg., 1994, S. 26-29.
- Rose, H.: Herstellerübergreifende Kooperation und nutzerorientierte Technikentwicklung als Innovationsstrategie. In: H. Rose (Hrsg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement, Frankfurt/New York 1995, S. 195-218.
- Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit und Kooperation als Leistungspotentiale gruppenorientierter Produktionsstrukturen - Neue Formen der Arbeitsorganisation aus dem Blickwinkel der CeA-Forschung. In: Arbeit (Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik), Heft 2, 1995a, S. 170-184.
- Rose, H.: Handlungsorientierte Informationsquellen und Zugriffsmöglichkeiten als alternative Ein- und Ausgabemedien. In: H. Martin (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York 1995b, S. 131-140.
- Rose, H.; Martin, H. : Neuere arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse durch Erforschung der Entwicklungspotentiale erfahrungsgeleiteter Arbeit. In: H. Martin (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin 1995, S. 263-282.
- Rose, H.; Schmid, L.; Schulze, H.; Wiegand, R.: Facharbeit in einem agilen intelligenten Produktionssystem. In: VDI-Z, Heft 11/12, 1995, S. 22-25.
- Roth, G.: Kognition - Die Entstehung von Bedeutung im Gehirn. In: W. Krohn; G. Küppers (Hrsg.): Emergenz - Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung, Frankfurt 1994, S. 104-133.
- Sauer, D.: Entwicklungstrends industrieller Rationalisierung. In: ISF-München u.a. (Hrsg.): Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1993 - Schwerpunkt: Produktionsarbeit, Berlin 1993, S. 13-26.
- Sauerwein, R.G.: Gruppenarbeit im westdeutschen Maschinenbau, Arbeitspapier Z 2-1/93 des SFB 187, Ruhr-Universität Bochum, Bochum 1993.
- Schüpbach, H.: Prozeßregulation in rechnerunterstützten Fertigungssystemen, Stuttgart 1994.
- Schulze, H.; Carus, U.: Systematik und Topologie kritischer Arbeitssituationen. In: H. Martin (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995, S. 30-42.

- Schumann, M.; Baethge-Kinsky, V.; Kuhlmann, M.; Kurz, C.; Neumann, U.: *Trendreport Rationalisierung - Automobilindustrie, Werkzeugmaschinenbau, Chemische Industrie*, Berlin 1994.
- Seel, N.M.: *Weltwissen und mentale Modelle*, Göttingen 1991.
- Seitz, D.: *Gruppenarbeit in der Produktion*. In: P. Binkelman u.a. (Hrsg.): *Entwicklung der Gruppenarbeit in Deutschland*, Frankfurt 1993.
- Skarpelis, C.: *Aufgabengerechte Software - Bestand, Bedarf*. In: W. Coy u.a. (Hrsg.): *Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor*, Stuttgart 1993, S. 44-88.
- Spath, D.; Burghardt, J.; Walter, W.: *Aus Erfahrung gut - Die Rückführung von Erfahrungsdaten verbessert die NC-Programmerstellung*. In: *NC-Programmierung*, Heft 4, 32. Jg., 1995, S. 267-271.
- Specht, D.; Gernert, R.: *Gestaltung von Benutzeroberflächen für technische Datenbanken*. In: *ZWF (Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung)*, Heft 10, 89. Jg., 1994, S. 520-522.
- Spur, G.; Hohwieler, E.; Schallock, B.; Ligner, P.; Fuchs-Frohnhofen, P.; Scjlausch, R.; Carus, U.: *Aufbereitung handlungsorientierter und gruppenfähiger Maschinen- und Steuerungskonzepte*, Endbericht an den BMFT, IPK, Berlin-Charlottenburg, 31. Mai 1994.
- Stadler, M.; Kruse, P.: *Über Wirklichkeitskriterien*. In: V. Riegas; Ch. Vetter (Hrsg.): *Zur Biologie der Kognition*, Frankfurt 1990, S. 133-158.
- Stadler, M.; Kruse, P.: *Visuelles Gedächtnis für Formen und das Problem der Bedeutungszuweisung in kognitiven Systemen*. In: S. Schmidt (Hrsg.): *Gedächtnis*, Frankfurt 1991, S. 250-266.
- Stadler, M.; Kruse, P.: *Zur Emergenz psychischer Qualitäten - Das psychophysische Problem im Licht der Selbstorganisationstheorie*. In: W. Krohn; G. Küppers (Hrsg.): *Emergenz - Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung*, Frankfurt 1994, S. 134-160.
- Stauffer, M.: *Piktogramme für Computer*, Berlin 1987.
- Storr, A.; Reibetanz, Th.: *Qualitätsgerechte Bearbeitungsmodellierung für die Komplettbearbeitung auf Drehzentren*. In: T. Pfeifer; F. Hollmann (Hrsg.): *Innovative Qualitätssicherung in der Produktion*, Aachen 1994, S. 161-167.
- Teubner, G.: *Die vielköpfige Hydra - Netzwerke als kollektive Akteure höherer Ordnung*. In: W. Krohn; G. Küppers (Hrsg.): *Emergenz - Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung*, Frankfurt 1994, S. 189-216.
- Viereck, A.: *Computerunterstützte Benutzeroberflächengestaltung*. In: U. Konrad; L. Drisis (Hrsg.): *Software-Ergonomie in der Gruppenarbeit*, Opladen 1993, S. 77-100.
- Volpert, W.: *Wider die Maschinenmodelle des Handelns*, Lengerich 1994.
- Waldmann, M.R.: *Schema und Gedächtnis*, Heidelberg 1990.
- Warnecke, H.J.; Becker, B.D. (Hrsg.): *Strategien für die Produktion*, Stuttgart/Berlin 1994.
- Weber, W.: *Psychologische Analyse und Bewertung computergestützter Facharbeit*, Berlin/München 1994.

- Weck, M.; Kohring, A.; Klein, F.: Offene NC-Systeme - Grundlage herstellereunabhängiger Flexibilität. In: VDI-Z, Heft 56, 1993, S. 51-55.
- Weisbecker, A.: Unterstützungswerkzeuge zur benutzergerechten Gestaltung der Mensch-Computer-Schnittstelle. In: W. Coy u.a. (Hrsg.): Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor, Stuttgart 1993, S. 184-199.
- Wheelwright, S.; Clark, K.: Revolution der Produktentwicklung, Frankfurt 1994.
- Wittke, V.: Qualifizierte Produktionsarbeit neuen Typs: Einsatzfelder, Aufgabenzuschnitte, Qualifikationsprofile. In: ISF-München u.a. (Hrsg.): Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1993 - Schwerpunkt: Produktionsarbeit, Berlin 1993, S. 27-66.
- Zimmer, H.D.: Von Repräsentationen, Modalitäten und Modulen. In: J. Engelkamp; Th. Pechmann (Hrsg.): Mentale Repräsentation, Bern 1993, S. 93-102.
- Züllighoven, H.: Umgang mit Software oder: Software als Werkzeug und Material. In: W. Coy u.a. (Hrsg.): Sichtweisen der Informatik, Braunschweig 1992, S. 141-156.

Die Autoren

Dipl.-Ing. Achim Agostini, wbk, Universität Karlsruhe

Dipl.-Ing. Thomas A. Fechter, PTW, TH Darmstadt

Dipl.-Ing. Frank Fleissner, wbk, Universität Karlsruhe

Dr. Paul Fuchs-Frohnhofen, HDZ/IMA, RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Christian Glockner, PTW, TH Darmstadt

Dr. Guido Gryczan, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg,

Dr. Ernst Andreas Hartmann, HDZ/IMA, RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Claus Itterheim, ISW, Universität Stuttgart

Dipl.-Ing. Hans-Peter Laubscher, IAO FhG Stuttgart

Dipl.-Ing. Uwe Rey, IAO FhG Stuttgart

Dipl.-Ing. Bernd Rommel, ISW, Universität Stuttgart

Dr. Helmuth Rose, ISF München

Dr.-Ing. Wilfried Schäfer, VDW, Frankfurt

Prof. Dr.-Ing. Herbert Schulz, PTW, TH Darmstadt

Dipl.-Psych. Hartmut Schulze, Psychologisches Institut I, Universität Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, wbk, Universität Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Alfred Storr, ISW, Universität Stuttgart

Dr. Inga Tschiersch, HDZ/IMA, RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Wolfgang Walter, wbk, Universität Karlsruhe

Dipl.-Ing. Axel Westerwick, HDZ/IMA, RWTH Aachen

Prof. Dr. Harald Witt, Psychologisches Institut I, Universität Hamburg

Prof. Dr. Heinz Züllighoven, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg

DAS INSTITUT FÜR SOZIALWISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG E.V. - ISF MÜNCHEN -

RECHTSFORM, LEITUNG, FINANZIERUNG

Das ISF München ist ein eingetragener Verein mit anerkannter Gemeinnützigkeit. Es besteht seit 1965. Mitglieder des Vereins sind Personen, die auf den Forschungsfeldern des Instituts arbeiten. Die Leitung liegt beim Institutsrat (Vorstand), der aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ISF besteht.

Das ISF verfügt über keine öffentliche Grundfinanzierung. Die Forschungsvorhaben werden ausschließlich über zeit- und projektgebundene Mittel finanziert. Auftraggeber sind z.B. Bundes- und Landesministerien, die Europäische Union, verschiedene Stiftungen, Institutionen der allgemeinen Forschungsförderung sowie - im Verbund mit öffentlich geförderten Forschungsprojekten - Unternehmen.

FORSCHUNGSGEBIETE, KOOPERATIONEN

Das ISF forscht über neue Entwicklungen in Betrieb und Gesellschaft. Im Vordergrund stehen betriebliche Rationalisierungsstrategien (Technikgestaltung, Arbeitsorganisation), Personal- und Ausbildungspolitiken und deren Voraussetzungen und Folgen für Arbeitsmarkt, Bildungssystem und industrielle Beziehungen. Die Untersuchungen richten sich auf die Verknüpfung von praxisbezogener und theoretischer Forschung und auf den internationalen Vergleich. Dazu arbeitet das Institut mit wissenschaftlichen Einrichtungen anderer, auch technischer Disziplinen, mit Unternehmen sowie mit internationalen Experten zusammen.

Kooperationsvereinbarungen bestehen mit der Fakultät für Ökonomie der Tohoku-Universität in Sendai/Japan und mit dem Economic Research Center der Han Nam Universität in Taejon/Korea.

Die Forschungsergebnisse werden für Wissenschaftler und Praktiker aus Unternehmen, Verbänden und öffentlichen Institutionen aufbereitet.

MITARBEITER, FORSCHUNGSORGANISATION

Im ISF arbeiten ca. 25 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit sozial-, wirtschafts- und ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung sowie studentische Hilfskräfte und freie Mitarbeiter für Spezialgebiete. Die Forschungsarbeiten werden von Projektteams mit hoher Eigenverantwortung durchgeführt. Überlappende Teamkooperation sichert Synergieeffekte, die Zusammensetzung der Belegschaft Interdisziplinarität im Hause. Rund 15 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erledigen die Aufgaben der Verwaltung und Sachbearbeitung.

Ein Überblick über die bisherigen Arbeiten und Veröffentlichungen ist über das Institut erhältlich.

ISF MÜNCHEN JAKOB-KLAR-STR. 9 80796 MÜNCHEN
TEL. 089/272921-0 FAX 089/272921-60 E-MAIL ISF@LRZ.UNI-MUENCHEN.DE

Ausgewählte Buchveröffentlichungen 1992 - 1996 (Stand September 1996)

- Altmann, Norbert; Köhler, Christoph; Meil, Pamela (eds.): Technology and Work in German Industry, Routledge, London/New York 1992.
- Böhle, Fritz; Rose, Helmuth: Technik und Erfahrung - Arbeit in hochautomatisierten Systemen, Frankfurt/New York 1992.
- Deiß, Manfred; Döhl, Volker (Hrsg.): Vernetzte Produktion - Automobilzulieferer zwischen Kontrolle und Autonomie, Frankfurt/New York 1992.
- Grüner, Hans: Mobilität und Diskriminierung - Deutsche und ausländische Arbeiter auf einem betrieblichen Arbeitsmarkt, Frankfurt/New York 1992.
- ISF-München; INIFES-Stadtbergen; IfS-Frankfurt; SOFI-Göttingen (Hrsg.): Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1992 - Schwerpunkt: Dienstleistungsarbeit, edition sigma, Berlin 1992.
- Tokunaga, Shigeyoshi; Altmann, Norbert; Demes, Helmut (eds.): New Impacts on Industrial Relations - Internationalization and Changing Production Strategies, iudicium verlag, München 1992.
- Bieber, Daniel; Möll, Gerd: Technikentwicklung und Unternehmensorganisation - Zur Rationalisierung von Innovationsprozessen in der Elektroindustrie, Frankfurt/New York 1993.
- Drexel, Ingrid: Das Ende des Facharbeiteraufstiegs? - Neue mittlere Bildungs- und Karrierewege in Deutschland und Frankreich - ein Vergleich, Frankfurt/New York 1993.
- Fischer, Joachim: Der Meister - Ein Arbeitskrafotypus zwischen Erosion und Stabilisierung, Frankfurt/New York 1993.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut: NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß - Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik, Frankfurt/New York 1993.
- ISF-München; INIFES-Stadtbergen; IfS-Frankfurt; SOFI-Göttingen (Hrsg.): Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1993 - Schwerpunkt: Produktionsarbeit, edition sigma, Berlin 1993.
- Deiß, Manfred: Regulierung von Arbeit in der Krise - Von der Transformation zum globalen Strukturwandel, Graue Reihe 94-06 der KSPW, Halle 1994.
- Drexel, Ingrid (Hrsg.): Jenseits von Individualisierung und Angleichung - Die Entstehung neuer Arbeitnehmergruppen in vier europäischen Ländern, Frankfurt/New York 1994.
- ISF-München; INIFES-Stadtbergen; IfS-Frankfurt; SOFI-Göttingen (Hrsg.): Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1994 - Schwerpunkt: Technik und Medizin, edition sigma, Berlin 1994.
- Moldaschl, Manfred; Schultz-Wild, Rainer (Hrsg.): Arbeitsorientierte Rationalisierung - Fertigungsinseln und Gruppenarbeit im Maschinenbau, Frankfurt/New York 1994.

- Bieber, Daniel; Larisch, Joachim; Moldaschl, Manfred (Hrsg.): Ganzheitliche Problemanalyse und -lösung für den betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz in einem Lager des Lebensmittelhandels, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz - Forschungsanwendung - Fa 33, Dortmund/Bremerhaven 1995.
- ISF-München; INIFES-Stadtbergen; IfS-Frankfurt; SOFI-Göttingen (Hrsg.): Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1995 - Schwerpunkt: Technik und Region, edition sigma, Berlin 1995.
- Lutz, Burkart; Schröder, Harry (Hrsg.): Entwicklungsperspektiven von Arbeit im Transformationsprozeß, Rainer Hampp Verlag, München/Mehring 1995.
- Rose, Helmuth (Hrsg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement - Neue Ergebnisse der Sozialforschung über Technikbedarf und Technikentwicklung, Frankfurt/New York 1995.
- Schmidt, Rudi; Lutz, Burkart (Hrsg.): Chancen und Risiken der industriellen Restrukturierung in Ostdeutschland. KSPW: Transformationsprozesse, Berlin 1995.
- Schmierl, Klaus: Umbrüche in der Lohn- und Tarifpolitik - Neue Entgeltsysteme bei arbeitskraftzentrierter Rationalisierung in der Metallindustrie, Frankfurt/New York 1995.
- Bieber, Daniel (Hrsg.): Technikentwicklung und Industriearbeit, Frankfurt/New York 1996 (im Erscheinen).
- Drexel, Ingrid; Giessmann, Barbara (Hrsg.): Berufsgruppen im Transformationsprozeß - Ostdeutschlands Ingenieure, Meister, Techniker und Ökonomen zwischen Gestern und Übermorgen, Frankfurt/New York 1996 (in Vorbereitung).
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (Hrsg.): Organisation und Mitarbeiter im TQM, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1996 (im Erscheinen).
- Lutz, Burkart; Hartmann, Matthias; Hirsch-Kreinsen, Hartmut (Hrsg.): Produzieren im 21. Jahrhundert - Herausforderungen für die deutsche Industrie - Ergebnisse des Expertenkreises "Zukunftsstrategien" Band I, Frankfurt/New York 1996.
- Meil, Pamela (Hrsg.): Globalisierung industrieller Produktion - Strategien und Strukturen - Ergebnisse des Expertenkreises "Zukunftsstrategien" Band II, Frankfurt/New York 1996.
- Rose, Helmuth (Hrsg.): Objektorientierte Produktionsarbeit - Neue Konzepte für die Fertigung, Frankfurt/New York 1996.
- Sauer, Dieter; Hirsch-Kreinsen, Hartmut (Hrsg.): Zwischenbetriebliche Arbeitsteilung und Kooperation - Ergebnisse des Expertenkreises "Zukunftsstrategien" Band III, Frankfurt/New York 1996.
- Schultz-Wild, Lore; Lutz, Burkart: Industrie vor dem Quantensprung - Eine Zukunft für die Produktion in Deutschland, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1996 (im Erscheinen).